(Aus dem forstlichen Versuchswesen Bayerns.)

Beitrag zur Kenntnis der Schattenfestigkeit verschiedener Holzarten im 1. Lebensjahre.

(Mit 6 Abbildungen.)

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
vorgelegt
der staatswirtschaftlichen Fakultät
der bayerischen Ludwig-Maximilians-Universität in München

von

Tscheng Dschang Gia
aus Peking.

Berlin 1927
Verlagsbuchhandlung Paul Parey.

Angenommen von der staatswirtschaftlichen Fakultät der Universität München
Berichterstatter: Prof. Dr. L. Fabricius, Geh. Reg.-Rat.

Sonderabdruck aus „Forstwissenschaftliches Centralblatt" 1927, Heft 11, 12 u. 13, herausgegeben von den Professoren der Forstwissenschaft an der Universität München: Geh. Rat Dr. M. Endres, Dr. V. Schüpfer, Dr. L. Fabricius.

Inhalt: Bisherige Forscher zur Lichtmessung in der Forstwirtschaft. — Die Methoden der Lichtmessung. — Die Versuchsanlage. — Schema der Versuchsanlage. — Klimatische Einwirkung. — Temperatur und Feuchtigkeit. — Bestimmungsmethode. — Zahlenmäßiges Ergebnis der Versuche. — Besprechung der Zahlenergebnisse. — Ermittlung der tatsächlichen Verhältnisse im Walde zum Vergleich mit den Versuchsergebnissen. — Das Bedürfnis einer Ergänzung der Versuchsergebnisse. — Begründung und Erläuterung des Meßverfahrens und der Ergebnisse.

Bisherige Forscher zur Lichtmessung in der Forstwirtschaft.

Seitdem Forstmänner die Wichtigkeit der Lichtwirkung in der Waldbauwissenschaft deutlich erkannt haben, sind sie auch auf die Bedeutung der Lichtmessungen aufmerksam geworden und haben zur Lösung der einschlägigen forstlichen Fragen verschiedentliche Methoden in Anwendung gebracht: Zuerst fand Theodor Hartig[1]) eine Methode zur Messung der Lichtintensität, indem er im Wald, mit Hilfe lichtempfindlichen Papiers, die Durchforstungsgrade feststellte.

Unabhängig von Hartig hat Wiesner mit der photographischen Methode zur Feststellung des relativen Lichtgenusses der Pflanzen und ihrer Organe gearbeitet. Diese Methode stammt von Bunsen und Roscoe. Wiesner[2]) hat sie in entsprechender Weise modifiziert und vereinfacht (Zersetzung von Silbersalzen als Maßstab zur Bestimmung der Lichtintensität.) Er war der erste, der eine Methode zur Messung der Lichtintensität erfand, welche es ermöglichte, ausgedehnte Untersuchungen unter den schwierigsten Verhältnissen, z. B. im Bereich der Baumkronen verschiedener Holzarten verschiedenen Alters auszuführen.

Nach Wiesners Erfahrung und mit seiner Hilfe hat Cieslar[3]) diese chemische Lichtintensitätsmessungsmethode im Wald verwendet. Er untersuchte die Lichtintensität unter dem vollen Bestandsschluß und für die verschiedenen Durchforstungsgrade und ist dabei zu sehr wertvollen Ergebnissen gelangt. Weitere Versuche stellten an: Schwab in Kremsmünster,[4]) Rübel auf dem Berninahospiz,[5]) Dorno in Davos,[6]) Stabler-Volkarts in Zürich.

[1]) Hartig, Photometrisches. Allg. Forst- und Jagd-Ztg., S. 35, 1877.

[2]) Wiesner, Der Lichtgenuß der Pflanzen 1907, S. 14; auch Cieslar, Die Rolle des Lichts im Wald. Mitt. d. österr. Versuchsanst., Heft 30, 1904, S. 17.

[3]) Cieslar, Die Rolle des Lichts im Wald.

[4]) Schwab, Das photochemische Klima von Kremsmünster, 1904.

[5]) Rübel, Vierteljahrsschrift. Naturf. Ges. in Zürich, 53, 207, (1908).

[6]) Dorno, Studien über Licht und Luft des Hochgebirges, 1911.

Ramann[1]) hat mit einem Selenphotometer unter verschiedenen Beständen zahlreiche Lichtmessungen angestellt und im Jahre 1911 diejenigen unter Fichtenbeständen mitgeteilt. Die Einheit der Lichtstärken drückt er in „lux“ aus. Ein lux entspricht der Lichtmenge, welche ein Quadratmeter Fläche von einer Normalkerze in einem Meter Abstand empfängt.

Knuchel hat mit Glansches Spektrophotometer im Wald spektrophotometrische Untersuchungen gemacht, aber bezüglich der beschränkten Anwendbarkeit dieser Methode sagt Knuchel selbst, „daß der voluminöse, kostspielige Apparat, die beschränkte Transportfähigkeit infolge des großen Gewichtes, das Erfordernis zweier Personen für die Beobachtung, und der Umstand, daß nur vertikal einfallendes Licht gemessen werden kann, Nachteile sind, die nicht gestatten überall und jederzeit, wo es wünschenswert wäre, Messungen anzustellen“.

Ich lasse nun hier eine Übersicht der Arbeiten waldbauwissenschaftlicher Autoren über Lichtmessungen folgen. Diese Zusammenstellung ist nach den Erscheinungsjahren der einzelnen Publikationen geordnet. Doch kann diese Übersicht, insbesondere was ausländisches Material betrifft, keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit machen, da es dem Verfasser nicht möglich war, sich die Literatur lückenlos zu beschaffen.

1877 Theodor Hartig, Photometrisches. Allg. Forst- und Jagd-Ztg. (Der Autor hat etwa 1855 einen Helligkeitsmesser konstruiert und Untersuchungen über die im Walde herrschenden Lichtgrade angestellt.)
1893 Wiesner, Photometrische Untersuchung auf dem pflanzenphysiologischen Gebiete Sbt. I.
1895 — Untersuchungen über den Lichtgenuß der Pflanzen mit Rücksicht auf die Vegetation von Wien, Cairo und Buitenzorg. Sitz.-Bericht d. Wiener Akademie d. Wissenschaft, Bd. 140.
1897 — Lichtwuchs der Holzgewächse. Zentralbl. f. d. gesamte Forstwesen.
1900 — Untersuchung über den Lichtgenuß der Pflanzen im arkt. Gebiete. Sitz.-Bericht d. Wiener Akademie d. Wissenschaften, Bd. 109.
1904 Hesselman, Lichtmessung nach Wiesners Methode. Zur Kenntnis des Pflanzenlebens schwedischen Landwesens.
1904 Stabler-Volkar ,Der Einfluß der Beschattung auf den Rasen. Landw. Jahrb. d. Schweiz.
1904 Cieslar, Die Rolle des Lichtes im Walde. Mitt. d. Forstl. Versuchsw. in Österreich, XXX. Heft, Wien.
1905 Wiesner, Untersuchungen über den Lichtgenuß der Pflanzen im Yellowstone-Gebiet und in anderen Gegenden Nordamerikas.
1907 — Der Lichtgenuß der Pflanzen.
1907 Max Wagner, Pflanzenphysiologische Studie im Walde.
1907 Zederbauer, Das Lichtbedürfnis der Waldbäume und die Lichtmeßmethoden. Zentralbl. f. d. gesamte Forstwesen.
1909 Cieslar, Licht- und Schattenholzarten, Lichtgenuß und Bodenfeuchtigkeit. Zentralbl. f. d. gesamte Forstwesen.
1910 Boysen-Jensen, Über das Verhalten der Waldbäume gegen das Licht. Tidskr. for Scogvaesen, XXII.
1911 Ramann, Lichtmessung in Fichtenbeständen. Allg. Forst- und Jagd-Ztg.
1913 Max Wagner, Die Sonnenenergie im Walde. Allg. Forst- und Jagd-Ztg.

[1]) Ramann, Lichtmessung im Fichtenbestand. Allg. Forst- und Jagd-Ztg. 1911, S. 401.

1914 Knuchel, Spektrophotometrische Untersuchung im Wald. Mitt. d. Schweizer Versuchsanst. f. d. forstliche Versuchswesen, XI, 1.
1914 Oelkers, Jahrring und Licht. Zeitschr. f. F. u. J., 1914, 1917 u. 1918.
1918 Bühler, Der Waldbau. Versuche über den Einfluß verschiedener Lichtgrade auf das Wachstum der wichtigsten Holzarten. (Bühler hat seit dem Jahre 1888 in schweizerischen und württembergischen Waldungen Versuche über die Einwirkung verschiedener Lichtgrade auf das Wachstum der wichtigsten Holzarten angestellt.)
1924 Schreiber, Waldbauliche Folgerungen aus den Studien über die Variation des Blattcharakters unserer Holzarten. Zentralbl. f. d. gesamte Forstwesen.
1924 Schmidt, Vegetationsversuche zum Ertragsfaktor Licht. Zeitschr. f. d. gesamte Forst- und Jagdwesen.
1926 — Das Verhalten des Saatguts verschiedener Herkunft gegenüber dem Lichtfaktor im Keimbett. Silva Nr. 30.
1926 Rieckert, Einfache Methode zur Erfassung der Licht- und Bodenverhältnisse am Saum. Silva Nr. 31.

Die Methoden der Lichtmessung.

Zur Messung des Tageslichts gibt es drei wesentliche Verfahren:

1. Das photoelektrische Verfahren (zuerst angewendet von Elster und Geitel).
2. Das photometrische Verfahren (zuerst von Wild angewendet, dann von Bunsen und Roscoe und insbesondere von Leonhard Weber weiter ausgebildet).
3. Das photochemische Verfahren (zuerst von Bunsen und Roscoe zu Helligkeitsmessungen benützt).

Über diese Methoden schreibt Peppler[1]) folgendes: Die photochemischen Methoden beruhen auf der Zersetzung lichtempfindlicher Substanzen durch die chemisch wirkenden Lichtstrahlen. Die Messung der Lichtintensität erfolgt meist durch die von den Strahlen ausgehende Schwärzung von photographischem Papier. Das erste photographische Photometer mit Chlorsilberpapier als Indikator wurde von den oben erwähnten Autoren konstruiert, die nachwiesen, daß innerhalb weiter Grenzen gleichen Produkten aus der Dauer der Bestrahlung und der wirksamen chemischen Lichtintensität gleiche Schwärzung des Normalpapieres entspricht. Dieses für photographische Papiere als allgemein gültig angesehene Gesetz bedarf jedoch einer kleinen Korrektur. Als Normalpapier dient ein auf genau bestimmte Weise zubereitetes, lichtempfindliches Chlorsilberpapier. Seine Schwärzung in einer Sekunde ist die Normalschwärze; sie dient, da sie die relative Einheit der chemischen Lichtintensität darstellt, bei allen Beobachtungen als Vergleichston. Zur Umrechnung in absolute Bunseneinheiten muß an den Normalton von Bunsen angeschlossen werden.

Zur Brauchbarkeit der in der Botanik bisher angewendeten Lichtmessungsmethoden für die Pflanzenkultur hat Hecht[2]) folgende Übersicht gegeben:

---

[1]) Peppler, Beiträge zum Strahlungsklima Badens, 2. Teil. Veröffentl. d. Badischen Landeswetterwarte Nr. 8, Abh. Nr. 5, 1926, S. 6.

[2]) Hecht, Das Graukeilphotometer im Dienste der Pflanzenkultur 1918.

1877 T. Hartig, Primitives Skalenphotometer.
1893 J. Wiesner, Normalfarbenphotometer.
1896 Kießling, Skalenphotometer. Kopierungsmethode.
1901 U. Steenstrup, Skalenphotometer, Schwärzungsmethode.
1905 Stabler und Volkarts, Wynes infallible Expokuremeter.
1907 Zeberbauer, Handspektroskop von Steeg.
1907 Wagner, Spektrophotometer.
1907 Samee, Selbstregistrierendes Normalfarbenphotometer.
1907 Kniep und Minder, Thermoelement nach Rubens und Drehspulgalvanometer nach Deprez-d'Arsonval.
1908 Meinhold, Thermosäulen aus Wismuth-Antimon und Galvanometer nach Carpentier.
1908 Mitscherlich, Registrierendes Skalenphotometer.
1910 Boysen, Wunsche-Aktionmeter.
1911 Ramann, Selenzelle.
1912 Vonk, Verbessertes Normalfarbenphotometer.
1913 Stone, Chemische Photometer mit Flüssigkeit.
1914 Knuchel, Glansches Spektrophotometer.

Außerhalb dieser Aufstellung sind zu nennen:

1918 Eder-Hecht, Graukeilphotometer.
1925 Lundegardh, Imperial Expokuremeter.

Zur Lichtmessung im Walde sind komplizierte Methoden nicht geeignet. Für die Wahl der Lichtmessungsmethode sind wir von verschiedenen Bedingungen abhängig, wie vor allem von der Billigkeit, von Bequemlichkeit und Einfachheit der Handhabung und von der Schnelligkeit der damit möglichen Messungen. Deswegen ist von der Anwendung der zuerst genannten photoelektrischen und photometrischen Methoden, ihrer relativen Kostspieligkeit und Kompliziertheit wegen, abgesehen worden. Daher müssen wir zur photochemischen Methode greifen.

Es ist nun als neue Methode zur kontinuierlichen Messung der Lichtintensität diejenige mittels Graukeil-Photometer-Apparat[1]) von Eder und Hecht begründet worden, welche in der Meteorologie die Wetterwarten und in der Pflanzenphysiologie die Botaniker — die letzteren sehr viel — verwendet haben. Der Bequemlichkeit halber wird sie bei unseren Lichtmessungen im Wald noch mit gutem Erfolg benützt.

[1]) Hecht, Das Graukeilphotometer im Dienst der Pflanzenkultur. Wien 1918. Eder, Ein neues Graukeilphotometer. Halle a. S. 1920. Der Graukeil hat eine Größe von 3×16 cm, ist in einen Holzrahmen eingesetzt und trägt an seiner unteren Fläche eine 2 mm Skala aus schwarzer Farbe. Unter dem Keil kann in einem Kopierrahmen ein Streifen lichtempfindliches Papier (Photometerpapier) exponiert werden, auf dem die Millimeterskala des Graukeils mehr oder weniger weit, je nach der Größe der wirkenden Lichtintensität und der Bestrahlungsdauer zur Abbildung gelangt. Die lichtabsorbierende Substanz des Graukeils ist Tuschglyzeringelatine, die zwischen zwei schwach gegeneinandergeneigten Spiegelglasplatten eingegossen wurde. Die eine der Glasplatten ist kollodioniert und wird nach dem Erstarren der Gelatine abgetrennt. Unter der Annahme, daß die Schwärzung der Gelatine in allen Teilen dieselbe ist, hängt die Lichtabsorption nur von der Dicke der aufgetragenen Tuschglyzeringelatine — der Keildicke — ab; sie steigt vom Keilende aus in geometrischer Progression, während die Millimeterzahlen in arithmetrischer Reihe zunehmen. Die Dichtezunahme des Keils pro Zentimeter Längenänderung ist die Keilkonstante; sie hat bei den für meteorologische Messungen benutzten Graukeilphotometern den Wert von 0,305.

Für die zu wählende Lichtmessungsmethode haben daher Prof. Schmaus und Prof. Dr. Eder mir den dankenswerten Rat gegeben, bei Lichtmessungen für waldbauliche Zwecke hauptsächlich die relative Lichtintensität zu bestimmen und hierzu sei am vorteilhaftesten das Graukeil-Photometer zu benützen.

Beim Graukeil-Photometer, mit der glänzend-spiegelnden Oberfläche, an der, durch Reflexwirkung und auch durch Absorption von Glas, Gelatine und Zelluloid Licht entzogen wird, entsteht nach Dorno ein Fehler von rund 20%. Durch Überdeckung des Graukeils mit einer mattierten diffundierenden Milchglasscheibe, vermeidet Dorno[1]) die durch Reflexion und Absorption bedingten Fehlerquellen fast ganz.

Bei Lichtmessungen der Wetterwarte ist die Belichtungsdauer möglichst lange, z. B. im Sommer (1. Mai bis 30. September) zweimaliger Streifenwechsel (am Mittag und nach Sonnenuntergang). Unser Zweck war aber im Wald das Licht zu messen, wobei es galt, in möglichst kurzer Zeit die relative Lichtmenge zu bestimmen. Das Graukeilphotometer mit Milchscheibe gedeckt gibt unter geschlossenem, dunklem Bestand in kurzen Zeiträumen (10—30 Minuten) manchmal gar keine Belichtungsspuren. Darum ist im Walde das Graukeilphotometer ohne Milchscheibe zu verwenden, um die Empfindlichkeit zu erhöhen und in einer Zeit, in der die Lichtintensität als ungefähr gleich angenommen werden kann, Resultate zu erzielen.

Es wurde nun bei der Lichtmessung mit Graukeilphotometern folgendermaßen verfahren: Es wurden gleichzeitig 2 oder 3 wagrecht aufgestellt: eines wurde im Freien exponiert, die andern im Bestand unterm Schirm und zwar an mehreren Stellen mit verschieden starker Beschattung. Die Lichtmessungszeit war, bei wolkenlosem Tage im Wald, vormittags 10 Uhr bis nachmittags 2 Uhr. Diese Zeit ist deshalb am vorteilhaftesten für solche Messungen, weil da die Sonne ihren Hochstand hat, wir daher die größten Relativitätslichtunterschiede zwischen Gesamtlicht und Schatten feststellen können. Vor oder nach dieser Zeit ist das direkte Sonnenlicht abgeschwächt und das diffuse Himmelslicht vermehrt, darum bekommen wir bei den Vergleichswerten nicht so große Unterschiede wie in den genannten Stunden des Hochstandes der Sonne; z. B. bei dicht geschlossenem Fichtenbestand ist zur Mittagszeit (12^h) die Lichtintensität unter dem Schirm bis auf $^1/_{80}$ geschwächt im Vergleich zum Freilandgesamtlicht. Um 4^h nachmittags beträgt die Lichtintensität unter dem Schirm schon $^1/_{40}$ der gleichzeitigen Gesamtlichtintensität.

Die Dauer der Messung war meistens 10 Minuten, bei vorübergehender Bewölkung wurden die Messungen bis zu 20 Minuten ausgedehnt, aber der Genauigkeit halber wurde möglichst an wolkenlosen Tagen das Licht während der Dauer von 10 Minuten gemessen. Zur möglichst exakten Zeitbestimmung, die man von einer Uhr mit Sekundenzeiger abnimmt, ist es notwendig, die

[1]) Dorno, Über die Verwendbarkeit von Eders Graukeilphotometer im meteorologischen Dienst. Met. Ztg., Bd. 42, 1925, S. 81, 97.

Schieber der aufgestellten Graukeilphotometer 1,2 und 3 in möglichst kurzen Zwischenräumen aufzuziehen und im gegebenen Augenblicke aufzudecken. Für die Ablesung der auf dem Photometerpapier kopierten Skalengrade gibt die Vorschrift an, daß der letzte, der ganzen Breite nach noch wahrnehmbare Strich zu bestimmen ist. Die Auffassungen verschiedener Personen weichen dabei durchschnittlich um 2 Skalengrade = 15 % voneinander ab.[1]) Bringt man die Photometerstreifen in eine Fixiersalzlösung, so kann man sie bei hellem Licht ablesen, aber die unter Schirm gemessenen Photometerpapierstreifen sind wegen der schwachen Lichtwirkung nur so leicht geschwärzt, daß die kopierten Skalengrade durch das Fixierbad manchmal ganz unsichtbar werden. Außerdem kann die Verschiedenheit der Fixierlösung sowie der Badedauer zur Fehlerquelle werden. Da die Methode des Fixierens sich aus obigen Gründen nicht als vorteilhaft erwies, wurden die Photometerstreifen an dunkelen Stellen im Walde, oder bei Tageslicht, das durch Vorhalten des Mantels abgedämpft war, direkt abgelesen, wobei man darauf zu achten hatte, daß die Skalengrade noch deutlich gesehen werden konnten. Dabei wurden die Photometerstreifen, von 0° der Skala ausgehend, in senkrechter Richtung zu derselben mit der rechten Hand langsam aufgebogen. Hierbei wiederum war darauf zu achten, daß die Belichtungsöffnung nicht zu groß wurde. Der Graukeil wurde mit der linken Hand festgehalten. Zur Vermeidung einer Vorbelichtung ist darauf zu achten, daß die andere Seite des Streifens dicht an die Graukeiloberfläche zu liegen komme. Das Resultat der Ablesungen soll sofort rückwärts auf dem Photometerstreifen aufgezeichnet werden und zwar Skalagrad, Zeit, Ort und Art der Deckung oder Beschirmung. Dorno rät zur Kontrolle stets zwei Ablesungen vorzunehmen, eine bei normaler Lage des Photometerstreifens, eine bei um 90° gedrehter Papierlage. Für das Neueinlegen des Photometerstreifens empfiehlt sich eine aus doppelt gelegtem schwarzen Tuch gemachte Handdunkelkammer. Man kann aber auch an Stelle des schwarzen Tuches den mehrmals gefalteten Mantel nehmen. Es ist eben darauf zu achten, daß das Licht ganz abgehalten wird.

Zur Berechnung der Lichtintensität ist es notwendig, zuerst die Lichtempfindlichkeit des verwendeten Chlorsilberpapiers in Beziehung zur Bunsen-Roscoe-Einheit auf Grund der Angaben der Bezugsfirma zu setzen.

Ist Keilkonstante = 305, dann rechnet man die Lichtintensität nach den in der Eder-Hechtschen Tabelle X gegebenen Zahlen. Z. B. wird im Photometer nach 10 Minuten eine Lichtempfindlichkeit von 140 Graden abgelesen, so ist die Lichtmenge 9163 Bunsen-Roscoe-Einheiten (weil die Papierkonstante = 1:1 Bunsen-Roscoe ist).

Die Lichtintensität wird mittels Division durch die Anzahl der Sekunden der Exposition berechnet, z. B. $\frac{9163}{600} = 15{,}271$ Bunsen-Roscoe-Einheiten.

---

[1]) Dorno, a. a. O. S. 81—97.

Die Messung der relativen Lichtmenge oder einer vergleichenden Bestimmung der Lichtintensität an zwei oder mehreren Stellen ist noch einfacher, z. B. im Freien und im Innern eines geschlossenen Bestandes. Es gibt das Photometer im Freien bei gleichlanger (10 Minuten) Exposition einerseits $140^{0} = 15{,}271$ relative Lichtmenge, andererseits im Innern des Bestandes $76^{0} = 0{,}170$ relative Lichtmenge, so ist das Verhältnis der Lichtmengen wie $\frac{0{,}170}{15{,}271} = 0{,}011$. In Prozent ausgedrückt errechnet man:

$$15{,}271 : 0{,}170 = 100 : P\,P = \frac{0{,}170 \,.\, 100}{15{,}271}.$$

In einfachen Brüchen ausgedrückt erhält man:

$\frac{15{,}271}{0{,}170} = 89$ d. i. die Lichtintensität im Freien gleich 1 und unter Schirm der Bedeckung gleich $^{1}/_{89}$.

Die Versuchsanlage.

Zu den Versuchen wurden 15 einheimische Holzarten (Fichte, Kiefer, Lärche, Tanne, Ulme, Hainbuche, Stieleiche, Traubeneiche, Rotbuche, Esche, Birke, Schwarzerle, Weißerle, Winterlinde, Sommerlinde) herangezogen.

Für jede Holzart wurden zunächst drei Varianten der Belichtung geschaffen. Die Holzarten wurden zu diesem Zweck bei der ersten Gruppe unbedeckt gelassen, also dem Gesamtlichte ausgesetzt, bei Gruppe 2 wurde durch Abdeckung mit gazebespannten Rahmen ein Lichtgrad hergestellt, der nur $^{1}/_{20}$ des Gesamtlichtes betrug. Bei Gruppe 3 wurde auf dieselbe Weise das Gesamtlicht auf $^{1}/_{80}$ abgeschwächt.

Eine weitere Abwandlung des Versuches bestand darin, daß in jeder Gruppe eine Reihe Töpfe mit Sand,[1]) die andere mit Gartenerde[2]) beschickt wurde, so daß für jede Holzart zweierlei Keimbette zur Verfügung standen. Zur Kontrolle wurden diese Versuche durchwegs zweifach ausgeführt:

Diese beiden großen Hauptabteilungen wurden mit A und B bezeichnet.

Die verschiedenen Lichtgrade wurden nach reiflicher Überlegung gewählt, die erste Gruppe ist unbedeckt, d. h. der Lichtgenuß war dem Gesamtlicht gleich. Die zweite Gruppe, deren Lichtgrad ungefähr dem Lichtminimum der Kiefer entspricht, dient gleichzeitig als Beweis der bisherigen Annahme auf Grund von Beobachtungen, daß Jungwuchs immer mehr Schatten erträgt, als erwachsene Bäume. Es wurde hier zu zeigen versucht, ob der Jungwuchs der Lichtholzarten wie Lärche, Birke, Kiefer, Esche usw. bei $^{1}/_{20}$ des normalen Lichtgenusses noch gut gedeiht oder schon kümmert.

[1]) Reiner Sand aus dem Freisinger Forstamt durch Sieben als ganz feiner Sand mit gelbroter Farbe gewonnen.

[2]) Gartenerde vom Grafrather Versuchsgarten durch Sieben als ganz feine Erde mit schwarzer Farbe gewonnen.

Außerdem — unabhängig vom obenerwähnten Topfversuch in Grafrath — wurden noch folgende Beobachtungen angestellt, die eventuell auch als ein Beweis dieser Annahme dienen können: Im Forstamtsbezirk Freising, Außenforstamtmannsbezirk Kranzberg, Distrikt VIII 1 b, findet sich ein 100 jähriger Tannenbestand. — In einer Gruppe, die schon mäßig durchforstet ist und unterm Schirm die Lichtintensität zur Mittagszeit $1/_{20}$ des Gesamtlichtes darstellt, befindet sich einiger Kiefernjungwuchs. Dieser Jungwuchs ist meistens 2—3 Jahre alt und 10—15 cm hoch. Es ist nun an und für sich unverständlich, daß bei so schwacher Lichtintensität noch Kiefernjungwuchs vorkommen kann, wenn er auch später verkümmert. Denn, wie schon bemerkt, ist die Minimumlichtgrenze für Kiefer nach Wiesner $1/_9$—$1/_{11}$, nach Portheim $1/_{11}$—$1/_{13}$. Die Bonität dieses alten Bestandes ist zwar erstklassig, er liegt auf südöstlicher Böschung. Es frägt sich daher nun, ob es die überaus günstigen Umstände (Bodengüte, Wärme und seine gute Feuchtigkeitsbilanz) sind, die trotz des Lichtmangels den Kiefernjungwuchs aufkommen ließen oder ob die Kiefer überhaupt in der Jugendzeit doch vielleicht schattenfester ist, als man bisher ohne weiteres annahm.

Die dritte Gruppe entspricht ungefähr dem Lichtminimum der Schattenhölzer (Buche, Tanne) das ist $1/_{80}$. Unterhalb ist die Bestimmung des relativen Lichtgenusses unsicher und führt nicht zu genauen Ergebnissen, wie schon Wiesner[1]) angeführt hat. Solche geringe Lichtintensitäten kommen aber bei Lichtgenuß nur selten in Betracht. Daher wurde die letzte Gruppe mit $1/_{80}$ Lichtgrad angelegt. Für diese Versuche wurden die Samen zumeist von der bekannten Firma Otto Boettcher in Tabarz gekauft. Tanne und Buche erhielt der Autor vom Forstamt Grafrath, Kiefer und Fichte von Schleißheim.

Die Aussaat wurde in der Zeit vom 10.—13. April durchgeführt. Die Samenmenge war je nach der Größe und den Holzarten verschieden; von Fichte und Kiefer kamen in einen Topf 100 Körner, von Lärche 60 Körner, Tanne 30, Ulme 50, Traubeneiche 12, Buche 30, Winterlinde und Sommerlinde 50 Körner. Von den kleinsamigen Arten Schwarzerle, Weißerle und Birke wurde je ein Gramm Samen pro Topf verwendet. Nur von Stieleiche und Hainbuche waren keine Samen zu bekommen. Von diesen wurden daher später Keimlinge gepflanzt. In der Keimzeit vom 1.—20. Mai haben die meisten Samen gekeimt, nur die beiden Lindenarten, Birke, Esche und Ulme haben gar keine Keimlinge bekommen. Dies hat seine Ursache entweder darin, daß die Keimungsfähigkeit verloren gegangen ist, wie bei Birke und Ulme sehr leicht möglich, oder daß die neuen frischen Samen erst im zweiten Jahre keimen, wie bei Esche, Linde anzunehmen. Deshalb wurden auch bei diesen Holzarten nochmals durchwegs Keimlinge gepflanzt.

Von den verschiedenen Holzarten wurden, ihren Eigenschaften entsprechend, in den einzelnen Töpfen eine verschiedene Anzahl von Keimlingen belassen: Fichte, Kiefer, Schwarzerle und Weißerle 30 Stück; Tanne und Lärche 20 Stück. Bei den übrigen Holzarten verblieben überall 10 Stück.

---

[1]) Wiesner, a. a. O. S. 153 (unter $1/_{80}$ werden die Lichtgenußbestimmungen unsicher).

Die Deckung mit Gazegitter wurde ab 28. Mai angewendet und die verschiedenen Lichtgrade wurden mit Graukeilphotometer (mit Milchglasscheibe gedeckt) festgestellt.

Die Versuche wurden im Grafrather Versuchsgarten durchgeführt. Die Lage der Versuchsbeete war eben. Sie hatten direkten Sonnenschein von vormittags 9 Uhr bis nachmittags 5 Uhr.[1])

Die Töpfe waren 5 cm tief im Boden eingelassen, um die Feuchtigkeit aus dem Boden zu ziehen. Bei jeder Gruppe waren die Sand- und Erdtöpfe nebeneinander gestellt. Die 3 Gruppen wiederum waren je 50 cm voneinander entfernt angelegt. Abteilungen A und B waren ebenfalls 50 cm auseinander.

Das Abdunkeln der Versuchspflanzen geschah in folgender Weise: Es wurden mit Gaze bespannte Rahmen auf 40 cm hohe Pflöcke aufgelegt. An den Seiten der Rahmen in der Richtung zum Erdboden wurde ebenfalls Gaze gespannt, doch so, daß ein Zwischenraum von 2 cm über dem Erdboden frei blieb, um den Pflanzen freie Luftzufuhr zu verschaffen, ohne aber das Licht zu ihnen gelangen zu lassen.

Die Versuchsbeete wurden zuerst jeden zweiten Tag, Gruppe 2 und 3 (weil bei diesen die Verdampfung viel geringer war) jeden achten Tag einmal begossen. Es wurde mit größter Sorgfalt darauf geachtet, daß jede Störung der Versuchsarbeit vermieden werde.

Unkraut ist nur in den Erdtöpfen vorgekommen. Die Töpfe wurden daher jeden dritten Tag gereinigt. Unkrautkeimlinge und von außen zufliegende Blättchen und dergleichen wurden sorgfältig entfernt. Es wurde dadurch einerseits die Nahrungswegnahme durch Unkraut vermindert, andererseits aber auch vermieden, daß Nährstoffe von außen her den Töpfen zugeführt wurden. In den Sandtöpfen waren gar keine Unkrautkeimlinge zu finden. Die Holzartenkeimlinge gediehen hier übrigens anfangs ganz gut. Ja, im ersten Monat nach der Aussaat wuchsen die Keimlinge in den Sandtöpfen besser als in den Erdtöpfen. Schädliche Beeinflussung der Anlagen durch Pilze und Würmer ist bei solchen Versuchen fast unvermeidlich. Würmer kamen bei unserem Versuch nur in den Erdtöpfen vor. Pilze traten zwar auch in den Sandtöpfen auf, doch richteten sie in den Erdtöpfen weit größeren Schaden an und zwar je nach der Widerstandsfähigkeit der jungen Pflanzen. Daher haben diejenigen Lichtholzkeimlinge, denen nur $^1/_{80}$ des Gesamtlichtes zugelassen wurde, am meisten gelitten. Die Keimlinge wurden ganz schwach. Die feuchte Wärme ist eben für die Pilze sehr günstig. Da die Schattenholzarten auch bei diesem schwachen Licht noch gut gedeihen, haben sie auch durch die Pilze viel weniger gelitten.

Klimatische Einwirkung.

Die Witterung war im Jahr 1926 für derartige Versuche sehr ungünstig. Von April bis August hat es außergewöhnlich viel geregnet. Es war daher

---

[1]) An der Ostseite stehen in einiger Entfernung alte Fichten, die den Sonnenschein vor 8 Uhr abhalten.

auch meist trübe und die Sonne hat nur selten geschienen. Ende August kamen dann einige sehr heiße Tage. Die freiliegenden Töpfe waren der direkten Bestrahlung bis zur Höchsttemperatur von 48° C ausgesetzt. Bis zum 1. September waren die Blätter der Buchen (Abteilung B) und Erlen (Abteilung A) in den Erdtöpfen durch die Sonne am Rand gebräunt.

Temperatur und Feuchtigkeit.

An wolkenlosen Tagen waren die im direkten Sonnenlicht stehenden Pflanzen einer Temperatur von über 40° C (am 1. September 2 Uhr nachmittags 48° C) ausgesetzt. Bei den bedeckten Gruppen war die Temperatur um 1° niedriger, als die Luft im Freien. Nach den Beobachtungen, die ich im Grafrather Versuchsgarten anstellte, ist auch im dicht geschlossenen Bestand die Temperatur zur Mittagszeit um einen Grad niedriger als die Freilufttemperatur. Im August wurden nachts folgende Minimaltempetaturen festgestellt: Bei den unbedeckten Pflanzen 10° C, bei den auf $^1/_{20}$ des Gesamtlichts abgedunkelten Pflanzen 14° C und bei den auf $^1/_{80}$ abgedunkelten Pflanzen 16° C.

Temperaturen gemessen am 17. August (Schönwetterlage).

	Vormittag			Nachmittag		
	8h	10h	12h	14h	16h	nachts
Unbedeckt I	16°	22°	28°	28,5°	28°	10°
$^1/_{20}$ des Gesamtlichts II .	15°	21°	27°	27,5°	27°	14°
$^1/_{80}$ des Gesamtlichts III .	16°	21°	26,5°	27°	27°	16°

Am 1. September 1926

Direktes Sonnenlicht	Lufttemperatur	$^1/_{20}$ des Gesamtlichts	$^1/_{80}$ des Gesamtlichts
48°	28°	27°	26°

Die Feuchtigkeit an Regentagen war bei den drei Gruppen ziemlich gleich, aber an regenlosen Tagen war der Feuchtigkeitsgehalt bei den bedeckten Gruppen weit größer als der der unbedeckten Gruppe.

Feuchtigkeitsgehalt gemessen am 11. August 1926 (Regentag).

	vorm.: 9h	10h	11h (Regen)	12h (Regenpause)	14h
	%	%	%	%	%
I	92	96	100	65	100
II	94	95	99	80	99
III	94	95	98	80	99

Am 13. August 1926 (Schönwetterlage).

	10h	12h	15h
	%	%	%
I	68	58	49
II	82	72	60
III	83	74	61

Nach den oben gegebenen Zahlen bestehen an schönen Tagen große Unterschiede zwischen den Feuchtigkeitsgehalten der bedeckten Versuchstöpfe gegenüber

denen der unbedeckten. Ein Vergleich von Temperatur und Feuchtigkeit, angestellt am 11. August (Regentag) 10 Uhr vormittags im Innern eines dichtgeschlossenen Duglasienbestandes mit Temperatur und Feuchtigkeit im freien Lande hat folgende Zahlen geliefert:

Im Freien	Temperatur	18° C	Feuchtigkeit	98%
Unt. Schirm	„	18,5° C	„	96%.

Bestimmungsmethode.

Vor der Besprechung dieses Versuches möge zuerst die Bestimmungsmethode erwähnt werden.

1. Das Blattgrün wurde nach Wiesners Verfahren bestimmt. Jede Holzpflanze hat den ihr charakteristischen Ton des Blattgrüns. Lärche und Birke z. B. hellgrün, Tanne schwarzgrün. Aber selbst bei derselben Holzart erscheint die grüne Farbe wegen des verschiedenen Lichtgenusses häufig ungleich. Wiesner[1]) hat gesagt, daß die Blätter mittlerer Beleuchtung ein sehr konstantes Grün besitzen, während die der Sonne ausgesetzten und die am tiefsten beschatteten Blätter weniger intensiv grün gefärbt sind. Bei zu stark beschatteten Blättern bewirkt die partielle Zerstörung des Chlophyllfarbstoffes eine hellgrüne Färbung. Unter dem Einfluß der durch höheren Sonnenstand bewirkten, gesteigerten Lichtstärke tritt später eine partielle Zerstörung des Chlorophyllpigmentes ein und Sonnenblätter nehmen eine hellere Farbe als die Schattenblätter an. Auf armem Boden gewachsene Pflanzen sind chlorophyllärmer als die auf gutem Boden gewachsenen Pflanzen und daher erscheint die Farbe der ersteren heller als die der letzteren. Die Blattgrünbestimmung ist für die Lichtversuche so wichtig, weil man mit ihrer Hilfe zu erkennen vermag, ob eine Lichtwirkung günstig ist oder nicht. Alle Blätter eines Baumes oder der verschiedenen Individuen derselben Baumart scheinen zunächst denselben Farbenton zu haben und erst durch genauen Vergleich, besonders mit Zuhilfenahme der Farbenskala, ergeben sich Unterschiede.

Wiesner fand, daß für diese Zwecke die Raddesche[2]) Internationale Farbenskala ein sehr geeignetes Werkzeug sei. Auch ich habe daher bei den vorliegenden Versuchen das Blattgrün mittels dieser Tafeln bestimmt.

2. Durchschnittszahlen für Länge und Gewicht wurden durch direktes Abwägen der einzelnen Versuchspflanzen gewonnen.

Zahlenmäßiges Ergebnis der Versuche.

Zunächst sollen nun die zahlenmäßigen Ergebnisse der Versuche folgen. Von einer ins einzelne gehenden Besprechung derselben soll zunächst Abstand genommen werden. Die Zahlen sind die Durchschnitte aller Pflanzen der

[1]) Wiesner, a. a. O. S. 227.

[2]) Die Raddesche Tafel enthält von grasgrün, gelbgrün und blaugrün je 60, von Gelb im Übergang zu gelbgrün 40, von grüngrau, blaugrüngrau und gelbgrüngrau je 20, also im ganzen 280 Töne.

Holzart	Belichtungsgrad	Boden	Gesamtlänge	Höhe über dem Boden	Wurzellänge	Gewicht
Tanne	I	S	22,3	3,0	18,2	0,27
		H	21,9	3,0	18,8	0,32
	II	S	18,1	2,8	15,4	0,20
		H	16,7	2,8	13,8	0,23
	III	S	17,2	2,6	14,6	0,19
		H	16,3	2,5	13,4	0,19
Lärche	I	S	15,5	2,7	12,8	0,10
		H	15,5	2,9	12,6	0,15
	II	S	12,6	2,7	10,0	0,07
		H	9,9	2,8	7,1	0,08
	III	S	10,8	2,4	8,4	0,05
		H	7,9	2,4	5,5	0,05
Kiefer	I	S	19,6	3,7	15,9	0,16
		H	18,1	3,8	15,3	0,22
	II	S	17,3	3,9	13,4	0,10
		H	16,6	3,9	12,7	0,10
	III	S	15,3	3,0	12,3	0,07
		H	7,3	2,4	4,9	0,07
Fichte	I	S	20,2	3,5	16,7	0,16
		H	18,9	3,8	15,1	0,17
	II	S	14,5	3,6	10,9	0,08
		H	11,2	3,7	7,5	0,09
	III	S	12,8	3,2	9,7	0,07
		H	10,2	3,6	6,7	0,07
Weißerle	I	S	10,3	1,6	8,7	0,07
		H	17,7	4,4	13,4	0,04
	II	S	9,8	3,8	6,5	0,07
		H	9,8	3,9	5,9	0,13
	III	S	7,0	2,4	4,7	0,05
		H	6,8	2,8	3,8	0,08
Schwarzerle	I	S	11,1	1,8	9,3	0,07
		H	17,3	5,5	11,8	0,43
	II	S	9,2	3,1	6,1	0,06
		H	11,6	5,2	6,4	0,14
	III	S	5,5	2,7	2,8	0,04
		H	6,3	2,9	3,5	0,08
Birke	I	S	7,4	0,5	6,9	0,02
		H	5,6	1,1	4,5	0,04
	II	S	4,4	1,0	3,4	0,02
		H	4,1	1,3	2,3	0,02
	III	S	3,8	0,8	3,0	0,01
		H	3,0	0,9	2,1	0,01
Hainbuche	I	S	22,6	4,3	18,3	0,27
		H	25,3	5,6	19,7	0,55
	II	S	21,1	5,1	16,0	0,24
		H	18,9	5,4	13,6	0,26
	III	S	15,9	4,4	16,0	0,19
		H	16,3	4,8	11,6	0,20

Holzart	Belichtungsgrad	Boden	Gesamtlänge	Höhe über dem Boden	Wurzellänge	Gewicht
Rotbuche	I	S	30,2	8,1	22,2	1,24
		H	34,2	10,3	24,0	2,20
	II	S	30,7	9,3	21,4	1,08
		H	31,4	10,3	21,2	1,32
	III	S	30,0	9,1	20,9	0,91
		H	29,7	10,1	19,7	0,95
Esche	I	S	19,4	6,1	13,4	0,40
		H	21,5	7,2	14,3	0,72
	II	S	20,6	7,0	13,6	0,56
		H	21,9	7,9	14,1	0,93
	III	S	20,2	6,4	13,8	0,50
		H	18,2	7,6	10,7	0,60
Traubeneiche	I	S	33,5	8,2	25,4	3,04
		H	43,7	10,5	32,8	4,93
	II	S	37,9	9,8	28,1	2,82
		H	37,8	9,8	28,1	2,96
	III	S	35,1	8,3	26,8	2,44
		H	33,2	9,5	23,5	4,47
Stieleiche	I	S	31,4	9,3	22,1	2,90
		H	35,1	9,7	25,4	3,57
	II	S	30,4	8,7	22,2	2,40
		H	29,0	9,0	20,1	2,65
	III	S	26,1	8,4	17,8	1,88
		H	26,7	8,5	18,7	2,00
Sommerlinde	I	S	19,9	5,0	15,0	0,46
		H	25,8	5,6	20,3	0,82
	II	S	16,3	4,7	11,6	0,42
		H	19,2	4,9	14,3	0,50
	III	S	12,7	4,6	8,1	0,40
		H	13,3	4 7	8,6	0,42
Winterlinde	I	S	15,7	3,1	12,6	0,14
		H	20,9	3,3	17,6	0,43
	II	S	13,2	3,5	9,7	0,13
		H	14,5	3,8	10,7	0,22
	III	S	11,1	3,1	8,1	0,12
		H	11,0	3,3	7,7	0,15
Ulme	I	S	22,8	4,1	18,7	0,35
		H	24,2	7,3	17,4	0,60
	II	S	20,7	6,6	14,0	0,29
		H	22,7	8,5	14,2	0,42
	III	S	15,8	4,5	11,3	0,20
		H	18,5	5,0	13,5	0,20

Alle Versuche wurden photographiert. Der Raumersparnis halber wurden nur die in Abb. 1—5 dargestellten Aufnahmen ausgewählt, um die Gesamtentwicklung dieser Holzarten zu zeigen.

beiden Töpfe A und B, die getrennt aufgenommen, ausnahmslos gute Übereinstimmung zeigten, S = Sand, H = humoser Boden, I = unbedeckt, II = $^1/_{20}$ des Gesamtlichtes, III = $^1/_{80}$ des Gesamtlichtes.

Besprechung der Zahlenergebnisse.

a) Gewichtsmengen.

Alle Holzarten produzieren die meisten Gewichtsmengen bei vollem Licht; eine Ausnahme macht nur die Esche. Die geringsten Gewichtsmengen kommen

A.

B.



Abb. 1. A. Tanne. B. Kiefer.

bei allen Holzarten außer der Esche, im Sand bei Gruppe III vor. Die Gruppe II bildete zwar mehr an Gewicht (abgesehen von der Esche) aus als die Gruppe III, hat aber doch viel weniger an Gewicht produziert als die im vollen Licht gewachsenen Pflanzen. Also kann man sagen: daß die Pflanzen mit zunehmendem Lichtentzug weniger an Gewichtsmengen produzierten, d. h. daß die Pflanzen in schwächerer Lichtwirkung geringere Substanz bildeten.

Alle Holzarten produzieren bei jedem Lichtgrad in H mehr oder gleichviel Gewicht als im Sand. H und S verhielten sich gleich bei Hainbuche, Traubeneiche, Fichte und Kiefer von $^1/_{20}$ der Beleuchtung an. Bei allen übrigen

Holzarten sind die H=Pflanzen bei vollem und bei $1/_{20}$ Licht bedeutend schwerer als die S=Pflanzen. Dagegen war bei der Gewichtserzeugung fast aller Holzarten ein Unterschied zwischen S= und H=Pflanzen bei $1/_{80}$ kaum mehr festzustellen. Das Licht war also offenbar hier der im Minimum arbeitende Wuchsfaktor, demgegenüber das vermehrte Nahrungsangebot der Erde im Verhältnis zum Sand keine Rolle mehr spielt.

Der Satz, daß die Schattenfestigkeit im allgemeinen mit Zunahme der Bodengüte wächst, findet also jetzt — unter Beschränkung auf die erste Jugend

A.

B.



Abb. 2. A. Fichte. B. Lärche.

und auf Widerstandsfähigkeit gegen starken Lichtentzug — beim umgekehrten Schluß wie hier, keine Stütze, da auf beiden Böden die im Gewicht zum Ausdruck gekommene Wuchsenergie sich gleich blieb.

Eine Ausnahme bilden nur die beiden Erlen, die Esche, die Winterlinde und die Stieleiche. Erstere, die Erlen, sind überhaupt dem Sand abhold (bei jedem Lichtgrad), was, wie wir sahen, im Hinblick auf die von ihr behauptete besondere Befähigung zur Nitrifikation sehr merkwürdig erscheint.

Bei der Esche ist der Unterschied bei $1/_{80}$ schon erheblich geringer als bei $1/_{20}$ und bei Vollicht, Schlußfolgerungen erübrigen sich daher: auch das Ver=

halten der Stieleiche ist zwar interessant, allein da die Unterschiede nur gering sind, soll zunächst abgesehen werden Folgerungen abzuleiten. Der Gewichtsunterschied zwischen S- und H-Pflanzen ist bei Nadelhölzern viel geringer als bei den Laubhölzern, am geringsten bei der Fichte.

Bei dieser Erscheinung kann man vielleicht daran denken, daß die Laubholzkeimlinge im guten Boden und bei günstiger Lichtwirkung (da ihre Blätter oft 2—3 mal gefiedert, in der Regel aber wenigstens die Oberfläche ihrer Blätter auch bedeutend größer ist), unter diesen Umständen natürlich mehr Lichtgenuß

A.

B.



Abb. 3. A. Weißerle. B. Schwarzerle.

und Kohlensäureassimilationsarbeit zuwege bringen, weshalb sie mehr Substanz zu bilden vermögen. Die im reinen Sand gewachsenen Pflanzen oder die stark abgedunkelten Pflanzen bilden dagegen wegen des Mangels an Nahrung oder an Licht kleinere Blätter und geringere Substanz. Deshalb sind bei Laubholzarten die Gewichtsunterschiede zwischen S- und H-Pflanzen und zwischen den verschiedenen Lichtgraden sehr groß. Bei den Nadelhölzern bildet die einjährige Pflanze oft nur Kotyledonen, besonders Tanne und Fichte, die fast die gleiche Zahl von Kotyledonen ansetzten. Auch wiesen Kiefer und Lärche, trotzdem sie bei guten

Bedingungen (Licht und Nahrung) etwas mehr Nadeln bildeten als Tanne und Fichte, doch noch lange nicht so starke Entwicklung ihrer Blattorgane auf wie die Laubholzarten, deswegen finden sich also bei den Nadelholzarten keine so großen Unterschiede im Gewicht als bei den Laubholzarten, da eben mit anderen Worten eine größere Bereitschaft vorhanden ist, die Wuchsenergie zu entfalten, als bei ersteren.

Ein Vergleich der untersuchten Holzarten nach ihren bei verschiedenem Lichtgrad produzierten Gewichtsmengen, ist wohl noch bedeutsam für die Prüfung ihrer Schattenfestigkeit.

A.

B.



Abb. 4. A. Traubeneiche. B. Stieleiche.

Die Schattenholzarten nun wie Tanne und Fichte wiesen bei den verschiedenen Lichtgraden nur geringere Differenz an Gewicht auf. Besonders ist bei Tanne auffällig, daß die Gruppe I auf Erde nur $^1/_3$ mehr als die Gruppe III ausbildete; auf Sand sind die Unterschiede noch kleiner.

Die Buche und Hainbuche, nehmen, trotzdem sie beide Schattenholzarten sind, mit zunehmendem Lichtentzug auf Erde doch stark ab. Das weist darauf hin, daß diese Holzarten doch in frühester Jugend lichtliebender sind, als man vielleicht annahm. Die Esche in Gruppe II hat größeres Gewicht als die in

Gruppe I; es scheint die Esche in der Jugendzeit verhältnismäßig schattenfest zu sein, wenn auch bei Gruppe III das Gewicht wieder sinkt. Sie erhält sich jedoch immer noch bei Sand über dem Wert von Gruppe I und auf Erde nur wenig darunter. Die Fichten, Linden und Ulmen weisen alle bei Lichtentzug regelmäßig Abnahme des Gewichts auf. Die beiden Erlen, die Kiefer, die Birke und die Lärche zeigen im Gewicht von Gruppe I und II auf Erde größere Differenz, daher scheinen diese Holzarten viel lichtliebender zu sein als

A.

B.



Abb. 5. A. Rotbuche. B. Hainbuche.

obige Holzarten. Noch stärker als auf das Licht reagieren sie, allerdings wie erwähnt, auf Bodenverhältnisse.

b) Gesamtlänge.

Die Gesamtlänge ist wie das Gewicht bei vollem Licht am besten entwickelt (Ausnahme nur bei der Rotbuche, Traubeneiche und Esche und zwar bei den S=Pflanzen). Die Gruppe II sehen wir in der Ausbildung der Gesamtlänge schon mehr oder weniger abgeschwächt, und die Gruppe III am stärksten

beeinträchtigt. Nach diesem Ergebnis ist zu schließen, daß im allgemeinen mit zunehmendem Lichtentzug die Gesamtlänge sinkt.

Die H-Pflanzen der Laubholzarten haben bei Gruppe I mit Ausnahme der Birke durchwegs eine größere Gesamtlänge als die S-Pflanzen. Bei den Nadelhölzern sind umgekehrt die S-Pflanzen der ersten Gruppe länger oder wenigstens gleich lang als die H-Pflanzen. Besonders deutlich treten diese Unterschiede bei den Erlen, der Traubeneiche und den Linden hervor. So sehen wir z. B., daß selbst die großfrüchtigen Eichen mit ihrem reichlichen Nährstoffgewebe doch auf den nährstoffarmen Sand bezw. den nährstoffreichen humosen Boden deutlich verschieden reagieren. Die Rotbuche, Hainbuche, Stieleiche, Ulme und Esche haben bei den S- und H-Pflanzen den Unterschied zwar nicht so deutlich entwickelt wie die oben erwähnten Holzarten, jedoch sind die H-Pflanzen doch deutlich länger als die S-Pflanzen. Wir sehen also, daß die Nahrung für das Wachstum der Gesamtlänge der Laubholzarten doch sehr viel ausmacht. Grund, wie bei Besprechung des Gewichts gezeigt, ist die Bereitschaft zur Entfaltung der Wuchsenergie, die eben beim Laubholz größer ist als beim Nadelholz.

Bei der Gruppe II und Gruppe III haben nur bei Ulme, Schwarzerle und Sommerlinde die H-Pflanzen größere Gesamtlänge; bei Weißerle, Traubeneiche, Stieleiche und Rotbuche sind die H-Pflanzen gleich oder fast gleich lang wie S-Pflanzen. Allgemein ausgedrückt kann man hier wieder sagen: Mit zunehmendem Lichtentzug ist — abgesehen nur von der Ulme —, ein Verschieben des Verhältnisses Gesamtlänge in H zu Gesamtlänge in S festzustellen in der Weise, daß gegenüber dem H, der S das Gesamtlängenwachstum langsamer fallen läßt als der H, so daß allmählich sich das Verhältnis H zu S gegenüber zum vollen Licht umkehrt. Dies stimmt gut zusammen mit unserer früher erwähnten Anschauung von der Wuchsbereitschaft der Holzarten: bei den Nadelhölzern sinkt die Gesamtlänge bedeutend (außer bei der Tanne), weil ihre Wuchsbereitschaft sowieso gering ist.

Bei Birke und Kiefer hatten bei allen Lichtgraden die S-Pflanzen eine größere Gesamtlänge als die bei denselben Lichtgraden gewachsenen H-Pflanzen. Diese Erscheinung wird noch anläßlich der Besprechung der Wurzellängen zum Vergleich herangezogen werden.

Daß die Schattenlaubholzarten Buche, Traubeneiche und Esche (in der Jugend!) bei Lichtentzug zunächst in der geschilderten Weise reagieren, erklärt sich aus ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber der Beschattung: im Gewicht ließ Traubeneiche und Esche sich nicht vermindern, nur die Rotbuche; in der Gesamtlänge weiß letztere sich aber zu behaupten und zeigt sich damit wieder als echte Schattholzart.

Es sollen nun die bei den 3 Lichtgraden gewachsenen Pflanzen (H- sowie S-Pflanzen) auf Grund ihrer Gesamtlänge bezüglich ihrer Schattenfestigkeit miteinander verglichen werden: Die Esche (Ausnahme Gruppe I S-Pflanzen)

weist in ihrer Gesamtlänge zwischen Gruppe I, II und III keine großen Unterschiede auf. Die Esche (H-Pflanzen), Gruppe I ist nur $1/20$ länger als die Gruppe II und $1/10$ länger als die Gruppe III, d. h. daß die Esche bei Lichtentzug bis zu $1/80$ fast noch ebenso viel Gesamtlänge produziert, wie im vollen Licht.

Es ist daher die Annahme zulässig, daß die Esche als einjährige Jungwuchspflanze eine ausgesprochen schattenfeste Holzart ist. Bei Tanne und Rotbuche sind zwischen den drei Lichtgraden keine großen Unterschiede im Gesamtlängenwachstum (bei Tanne sind die H-Pflanzen sowie die S-Pflanzen der Gruppe I nur um $1/5$ länger als die der Gruppe II und III, die der Gruppe II und III sind ziemlich gleich), ebenso sind bei den Rotbuchen die Gesamtlänge, zumal die der S-Pflanzen, aber auch die der H-Pflanzen fast ganz gleich. Bei Fichte, Hainbuche, Ulme, den beiden Linden und beiden Eichen sind die Gesamtlängen bei Gruppe I fast $1/5$ größer als bei Gruppe II und $2/5$ länger als bei Gruppe III. Besonders bei den Fichten-H-Pflanzen ist die Gruppe I schon mehr als $2/5$ größer als die Gruppe III. Nach diesen Ergebnissen kann man die Fichte und Hainbuche als Halbschattholzarten bezeichnen. Bei den beiden Erlen, der Kiefer, Birke und Lärche weisen die H-Pflanzen der 3 Gruppen große Differenzen auf. (Die Gruppe I ist fast $1/3$ länger als die Gruppe II und zweimal so lang als die Gruppe III.) Also kann man sagen, daß im allgemeinen die Schattenholzarten mit zunehmendem Lichtentzug an Gesamtlänge weniger abnehmen als die Lichtholzarten.

c) Wurzellänge.

Im Zusammenhang mit der Gesamtlänge muß weiterhin die Wurzellänge der Versuchspflanzen betrachtet werden. Diejenigen Pflanzen, welche für die Sandtöpfe größere Gesamtlängen produzieren, weisen auch größere Wurzellängen auf, sie haben eben längere Wurzeln ausgesandt, um in dem armen Sandboden Nahrung zu finden.

Die S-Pflanzen der Nadelholzarten bei allen 3 Gruppen (mit Ausnahme der Tanne Gruppe I) haben durchwegs eine größere Wurzellänge als die H-Pflanzen. Bei den Laubholzarten der Gruppe I haben die H-Pflanzen eine größere Wurzellänge als die S-Pflanzen, eine Ausnahme bilden nur Birke und Ulme. Bei den Laubholzarten der Gruppe II und III haben nur die H-Pflanzen der Schwarzerle, Ulme und der beiden Linden größere oder fast gleiche Wurzellänge wie die S-Pflanzen, bei Rotbuche, Hainbuche, Weißerle, Esche, Traubeneiche, Stieleiche und Birke haben die S-Pflanzen der Gruppe II und III längere oder fast gleichlange Wurzeln wie die H-Pflanzen. Also sieht man hier, daß mit zunehmendem Lichtentzug bei den S-Pflanzen beim selben Lichtentzug die Wurzellänge weniger stark abnimmt als bei den S-Pflanzen.

Die Birke und Kiefer haben an Wurzellänge wie an Gesamtlänge bei den S-Pflanzen in allen Lichtgraden mehr produziert als die H-Pflanzen derselben

Lichtgrade. Aus dem hier Gesagten kann man ersehen, daß die Birke und Kiefer, wenn sie auch den armen Sandboden nicht lieben, doch die Fähigkeit besitzen im armen Sandboden längere Wurzeln zu bilden um die Nahrung zu suchen. Die beiden Holzarten scheinen also im armen Sandboden mehr Wachstumszähigkeit zu besitzen als die anderen Bäume.

Die Wurzellänge ist wie das Gewicht und die Gesamtlänge bei dem vollen Licht am besten entwickelt (eine Ausnahme bilden nur von der Esche die S-Pflanzen). Die Gruppe II ist in der Ausbildung der Gesamtlänge schon mehr oder weniger abgeschwächt; und bei Gruppe III durch den starken Lichtentzug die Ausbildung der Wurzellänge schon stärker beeinträchtigt. Also kann man auch hier sagen, daß im allgemeinen, mit zunehmendem Lichtentzug, nicht nur die Gesamtlänge und das Gewicht, sondern auch die Wurzellänge sinkt. Es sollen nun die Wurzellängen bei den verschiedenen Lichtgraden ins Auge gefaßt werden, um die Schattenfestigkeit von verschiedenen Holzarten zu vergleichen. Bei den untersuchten Holzarten unter den drei verschiedenen Lichtgraden haben wir nur bei Esche, Tanne und Rotbuche eine geringe Differenz. Bei Fichte, Hainbuche, sowie Ulme, den beiden Eichen und den beiden Linden sind bei den verschiedenen Lichtgraden schon größere Differenzen vorhanden. Bei allen Holzarten haben H-Pflanzen eine größere Wurzellängendifferenz als die S-Pflanzen. Interessant ist, daß bei Fichte die S-Pflanzen der Gruppe I $^1/_3$ mehr als die der Gruppe II und $^1/_2$ mehr als die der Gruppe III aufweisen. Die H-Pflanzen derselben Holzart der Gruppe I haben sogar zweimal größere Wurzellängen als die der Gruppe II und III. Bei Hainbuche haben die 3 Gruppen S-Pflanzen zwar keine großen Unterschiede, aber die 3 Gruppen H-Pflanzen weisen sehr große Unterschiede auf: die Fichte und Hainbuche kann man nach ihren Wurzellängen daher nicht mehr als Schattenholzarten bezeichnen, sondern sie gehören zur Reihe der Halbschattenholzarten. Bei Kiefer, Birke, Lärche und den beiden Erlen sind die Differenzen zwischen den verschiedenen Lichtgraden sehr groß. Besonders bei der Kiefer und den beiden Erlen sind die H-Pflanzen der Gruppe I fast dreimal so groß als die der Gruppe III.

Aus dem hier Gesagten kann man im allgemeinen folgern: Die Wurzellängen der Lichtholzarten nehmen mit zunehmendem Lichtentzug stärker ab, als die der Schattenholzarten.

d) Höhenentwicklung der Pflanzen über der Erde.

Bei den Pflanzen des H sind die oberirdischen Teile durchwegs höher als bei dem S. Der Grund dafür beruht, wie leicht zu erkennen, darauf, daß der S arm an Nahrung ist. Die Keimlinge erhalten bekanntlich die Nahrung zuerst vom Nährgewebe; bald aber leben sie von dem bei der Kohlensäureassimilation gebildeten Kohlehydrat (Stärke). Die H-Pflanzen nun können ununterbrochen aus der humusreichen Erde die Nährstoffe aufnehmen, während

dadurch gleichzeitig die oberirdischen Blätter stark zu assimilieren vermögen. Die S-Pflanzen dagegen bleiben, obwohl manche Holzarten längere Wurzeln im S als in dem H bilden, um die Nahrung zu suchen, doch in ihren oberirdischen Teilen kürzer und weisen geringeres Wachstum als die H-Pflanzen auf.

Die H-Pflanzen stehen in der Höhe — außer bei Kiefer, Ulme, Esche, weniger bei Birke und nur ganz gering bei Rotbuche — überall mit zunehmendem Beschattungsgrad mehr oder weniger stark zurück.

Die S-Pflanzen zeigen dieses Verhalten nur bei Tanne und Stieleiche. Bei allen übrigen S-Pflanzen steigt die Höhe zunächst bis $^1/_{20}$ an, um dann bei $^1/_{80}$ zu sinken, bleibt aber bei den Erlen, Birke, Esche, Rotbuche, Hainbuche und Traubeneiche noch über dem Wert von Gruppe I.

Begründung: Das Streckungswachstum (vgl. Benecke-Jost, Pflanzenphysiologie Bd. II, S. 157) wird mit Zunahme des Lichtentzuges, mit dem aber eine Vermehrung der Feuchtigkeit Hand in Hand geht, nach Josts Ansicht aber auch infolge des Mangels an Stickstoff bei der bedeckten Gruppe II zunächst zunehmen.[1] Bei weiterem Lichtentzug sinkt es auch. Im vollen Licht ist eben infolge der damit verbundenen starken Ausdünstung der Turgor herabgesetzt, die Vorbedingung der Aufwärtsrichtung der Sprosse. Bei zu stark gedämpftem Licht, wie auch bei hochstehender Sonnenbestrahlung[2]) (die kurzwelligen blauen Lichtstrahlen werden die Streckung der Pflanzenachsen unterdrücken), wird die Bildung anorganischer Substanz zu sehr behindert sein, als daß die Pflanzen noch genügend in die Höhe wachsen könnten. Extreme sind eben in der Regel schädlich, während das Optimum in der Mitte liegen dürfte. Die Streckungsreaktion kommt vielleicht nur bei einigen Holzarten vor, welche weniger schattenfest sind. Andererseits wirkt allerdings nach Bühler (a. a. O. II. Bd. S. 414) die Beimischung eines Treibholzes (z. B. Föhren, Lärchen, zu Fichten und Buchen), fördernd auf den Höhenwuchs auch von Schatten- und Halbschattenholzarten, dann nämlich, wenn es sich darum handelt, anspruchsvolleren Arten auf geringerem Boden eine genügsamere rasch wachsende Nachbarschaft zu gewähren, die den Boden deckt und jene mit hinaufnimmt. Doch ist wohl hier kein Gegensatz vorliegend, da eben die Lichthölzer engeren Schluß brauchen als die Schattenhölzer, um mehr in die Höhe, weniger in die Breite zu gehen und dann auch Schattenholzarten mit hinaufzwingen.

---

[1]) Nach Benecke-Jost ist die Streckung abhängig von äußeren Einflüssen, wie Wasserzufuhr, Beleuchtung, Nährsalze. Z. B. durch Lichtmangel, durch Mangel an Stickstoff aber auch durch starke Wasserzufuhr können selbst ausgewachsene Zellen noch zu erneuerter Streckung veranlaßt werden. So entstehen durch Unterdrückung der Transpiration durch Paraffinüberzüge die sogenannten hyperhydrischen Gewebe, die sich schon äußerlich als Anschwellungen (Intumeszenzen) geltend machen.

[2]) Rubner a. a. O. S. 31.

Bei schattenfesten Holzarten (wie Tanne, Buche usw.), wurde schon von früheren Autoren festgestellt, daß die Lichtminimumgrenze weit jenseits von $^1/_{20}$ des Gesamtlichtes liegt (siehe Schema). Von solchen Holzarten kann man mit Bestimmtheit sagen, daß die bei $^1/_{20}$ des Gesamtlichtes gewachsenen Pflanzen ihr Höhenwachstum nur durch günstige, klimatische Einflüsse (feuchte Wärme, Lichtoptimum) erreicht haben. Deswegen ist bei diesen Pflanzen das Höhenwachstum besser als bei der unbedeckten Gruppe. Bei Gruppe III sind deren Pflanzen schon nicht mehr so hoch als die der Gruppe II. Anders bei weniger schattenfesten Holzarten wie Kiefer, Birke und Lärche. Die Lärche nimmt mit zunehmendem Lichtentzug an Höhe ab. Die Kiefer steigt bei Gruppe II und sinkt bei Gruppe III, die Birke ist bei Gruppe II und III verhältnismäßig höher als bei Gruppe I. Bei Kiefer, Lärche und Birke sind die Höhenverhältnisse möglicherweise durch Streckung bedingt. Bei allen übrigen Holzarten erklären sich die Höhenverhältnisse bei Betrachtung der übrigen Faktoren von selbst.

e) Blattgrün.

Das Blattgrün ist bei vollem Licht ein auffällig helleres Grün als bei den bedeckten Gruppen, besonders ist dies bei den dem vollen Lichte ausgesetzten S-Pflanzen der Fall; alle Sandtöpfe der Gruppe I haben ein ausgesprochenes Gelbgrün. Die einzige Ausnahme bildet die Tanne, deren S-Pflanzen der Gruppe I entschieden grasgrün sind, wenn auch um einige Grade weniger intensiv als die H-Pflanzen derselben Gruppe. Bei den bedeckten Pflanzen der Gruppe II findet sich bei allen Holzarten (mit Ausnahme von Lärche und Birke) das tiefste Grün. Die Pflanzen der Gruppe III haben bei manchen Holzarten wie Tanne, Fichte, Rotbuche, Hainbuche und Esche gar keine Änderungen im Blattgrün gezeigt, während bei den beiden Eichen, beiden Linden beiden Erlen, der Ulme, Kiefer, Birke und Lärche die Intensität des Grüns merkbar abnahm. — Aus diesen Tatsachen ist folgendes leicht zu erkennen: Bei den im vollen Licht gewachsenen Pflanzen tritt unter dem Einfluß der durch höheren Sonnenstand bewirkten, gesteigerten Lichtstärke eine partielle Zerstörung des Chlorophyllpigmentes ein und die Blätter nehmen eine hellere Farbe an als die der bedeckten Pflanzen.[1]) Es wurde erwähnt, daß bei den unbedeckten S-Pflanzen alle Holzarten eine gelbgrüne Farbe bekommen (abgesehen von der Tanne). Dies ist durch zwei Faktoren bedingt:

1. Im armen Sandboden wird aus Mangel an Nahrung schon sehr viel weniger Chlorophyll ausgebildet,[2]) als im guten Boden oder bei gedämpftem Licht (und mehr Feuchtigkeit).

---

[1]) Vgl. Wiesner (Der Lichtgenuß der Pflanzen S. 245): Die Zerstörung des Chlorophylls im Sonnenlicht geht hier so weit, daß das von den Sonnenstrahlen direkt getroffene Laub gelb wird infolge Zerstörung des Chlorophylls und des Erhaltenbleibens des Xantophylls.

[2]) Vgl. Lundegardh (Klima und Boden 1925, S. 60): Als Ursache dieses Verhaltens mag darauf hingedeutet werden, daß gut ernährte Pflanzen mehr Chlorophyll ausbilden.

2. Die chlorophyllarmen Blätter leiden weit mehr unter dem zerstörenden Einfluß des Sonnenlichtes, darum sind die Blätter ins Gelbgrün eingestellt. Bei den H-Pflanzen, die durch guten Boden ernährt werden, findet ununterbrochen die Neubildung des Chlorophyllpigmentes in den Chlorophyllkörnern statt. Daher sind die H-Pflanzen grün oder fast tiefgrün, während die S-Pflanzen unter denselben Verhältnissen unter den Einwirkungen der direkten Sonnenstrahlen gelbgrün erscheinen. Bei den bedeckten der Gruppe II verursachte die einwirkende Lichtintensität auf das Chlorophyll fast keinerlei zerstörende (abgesehen von Birke und Lärche) Wirkung ($\frac{1}{20}$ Lichtintensität ist für die Halbschatten- und Schattenholzarten noch ein mittlerer Lichtgrad), darum tritt bei den Pflanzen meistens tiefgrün auf. Bei der Gruppe III sind bei manchen Holzarten durch die zu geringe Lichtwirkung die Blätter weniger intensiv grün gefärbt.[1] Es soll nun das Blattgrün der bei den 3 Lichtgraden gewachsenen Pflanzen hinsichtlich deren Schattenfestigkeit verglichen werden. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß das Blattgrün der Pflanzen der Gruppe I heller war als das bei den Pflanzen der Gruppe II. Es ist auffällig, daß die Kiefer, Lärche, Birke in Gruppe II eine relativ geringere Farbenintensität erreicht haben, als die anderen Holzarten. Aus dem Gesagten ist zu entnehmen, daß die Kiefer, Birke und Lärche auch im Blattgrün von allen Versuchsholzarten am stärksten auf den Lichtentzug reagiert haben, was auch für ihre Zugehörigkeit zu den Lichtholzarten spricht. Bei Ulme, den beiden Linden, den beiden Eichen und den beiden Erlen war eine merkliche Abnahme der Intensität des Blattgrüns bei Gruppe III (gegenüber der Färbung der Blattorgane der Gruppe II) zu beobachten.

Bei Tanne, Buche, Fichte, Hainbuche und Eiche bestand hinsichtlich der Färbung der Blattorgane zwischen Gruppe II und III kein Unterschied. Die Ulme, die beiden Linden, beiden Eichen und beiden Erlen, die zwischen Gruppe II und III einen wesentlichen Verlust an Grünintensität aufweisen, gehören offensichtlich zu den Halbschattenholzarten. Tanne, Fichte, Buche, Hainbuche und Eiche zeigen auch im Blattgrün ihre Eigenschaften als ausgesprochene Schattenholzarten.

Bezüglich des Blattgrüns der unbedeckten und der bedeckten Pflanzen ist außer den oben erwähnten Begründungen noch eine merkwürdige Ursache zu besprechen, die Tatsache (siehe Darstellung), daß einerseits die H-Pflanzen

---

Namentlich bei reichlicher Stickstoffnahrung nehmen die Blätter eine dunkelgrüne Färbung an. Auf magerem Sandboden erscheinen sie aber immer blaß. Die chlorophyllreichen Blätter assimilieren pro Fläche mehr als die chlorophyllarmen, es bildet also hierdurch die reichere Bodennahrung eine Kompensation für Lichtmangel.

[1] Vgl. Wiesner (a. a. O. S. 227): An vielen Bäumen und Sträuchern kann man die Wahrnehmung machen, daß die Blätter mittlerer Beleuchtung sehr konstantes Grün besitzen, während die der Sonne ausgesetzten und die am tiefsten beschatteten weniger intensiv grün gefärbt sind.

der Gruppe I nicht in dem Maße wie die S-Pflanzen derselben Gruppe gelbgefärbt sind, und daß andererseits zwischen S und H in Gruppe II hinsichtlich des Blattgrüns gar kein Unterschied besteht.

Die im Zusammenhang mit dem Lichtentzug vermehrte Feuchtigkeit spielt eine nicht unbeträchtliche Rolle bei diesen Erscheinungen. Die vermehrte Feuchtigkeit ist an und für sich schon von günstigem Einfluß auf das Wachstum der Pflanzen, dann aber befördert sie das Entstehen von Algen und Bakterein. Es wurde tatsächlich bei den bedeckten S-Pflanzen (aber auch bei den H-Pflanzen) eine grüne Algenschicht beobachtet. Die Zerfallprodukte der Algen und Bakterien dürften eine nicht unwesentliche Nahrungszufuhr für die Pflanzen in dem sonst nahrungsarmen Sandboden bedeutet haben. Darum war im Blattgrün bei den bedeckten Gruppen zwischen S-Topf- und H-Topfpflanzen kein so großer Unterschied wie bei den unbedeckten Gruppen. Bei den unbedeckten Gruppen war wegen der direkten Einwirkung der starken Sonnenstrahlen keine Algenbildung möglich.

f) Zusammenfassung.

Den einzeln erwähnten Beobachtungen lassen wir nun eine zusammenfassende und vergleichende Betrachtung folgen, um die Schattenfestigkeit der einzelnen Holzarten nochmals festzulegen.

(Siehe Abbildung 6, S. 26.)

Früher teilte man die Holzarten in zwei Kategorien ein, d. h. in Schatten- und Lichtholzarten. Man hat sogar von „schattenliebenden“ Holzarten gesprochen.[1]) Heute sind sich wohl die bedeutendsten Autoren darüber einig, daß es schattenliebende Holzarten nicht gibt. Alle Holzarten fordern Licht; unsere Versuche haben gezeigt, daß alle Holzarten um so besser wachsen, je höher der Lichtgenuß ist. Seit Prof. Dr. Fabricius die Bezeichnung Schattenfestigkeit eingeführt hat, wird diese von allen Forstleuten als eindeutiger Fachausdruck gebraucht. Da der Ausdruck Schattenfestigkeit den Vorteil bietet, an Stelle der wenig übersichtlichen Einteilung in Gruppen, eine Reihe aufzustellen, habe ich die Versuchsbaumarten hinsichtlich ihrer Schattenfestigkeit in der ersten Jugend in eine unten angeführte Reihe gebracht:

1. Bei unseren Versuchen an einjährigen Pflanzen der 15 Holzarten kommt in jeder Hinsicht, bezüglich Schattenfestigkeit die Esche an erster Stelle. Im Gegensatz zu allen anderen Holzarten, wo die Gruppe I ein größeres Wachstum hat, als die Gruppe II und III hat die Esche bei Gruppe II und III fast durchwegs ein stärkeres oder gleiches Wachstum wie die Gruppe I. Dies zeigt, daß die Esche bei $^1/_{80}$ Lichtintensität im Wachstum noch ebenso kräftig ist wie

---

[1]) Döbner teilt die Holzarten in zwei Gruppen: Lichtliebende, wie Eiche, Birke, Föhre, Lärche, Erle usw.; Schattenliebende, wie Buche, Fichte, Tanne, Hainbuche, Linde, Esche, Ulme. Forstztg. 1859 S. 173.

beim Gesamtlicht. Ein derartiger Grad von Schattenfestigkeit kommt sonst bei keiner Holzart vor.

2. Neben der Esche ist auch die Tanne von großer Schattenfestigkeit. Die Tannenpflanzen der III. Gruppe haben im Wachstum nur geringe Differenzen (Gruppe I leistet z. B. nur $^1/_{10}$ mehr als Gruppe III), und das Blattgrün ist bei $^1/_{80}$ des Gesamtlichtes noch ebenso dunkel wie bei $^1/_{20}$.

3. Die Rotbuche weist im Gewicht zwischen den drei Gruppen schon große Unterschiede auf. Dies bedeutet, daß die Rotbuche im Freilicht mehr Substanz bilden kann, als im verminderten Licht. Hinsichtlich Gesamtlänge, Wurzellänge

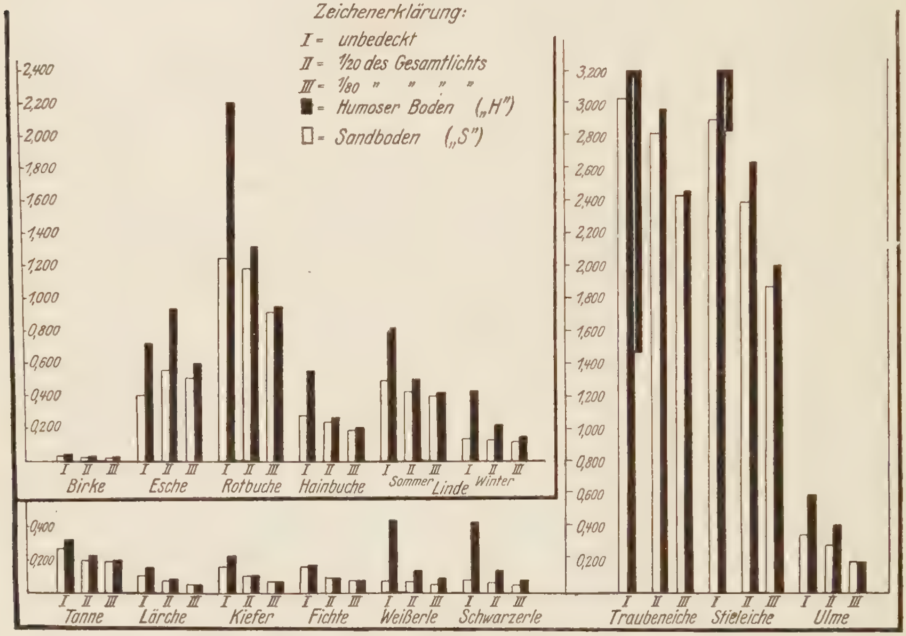


Abb. 6. Graphische Darstellung des Gewichts.

und Höhe über der Erde sind aber fast keine Unterschiede bei den drei Gruppen zu bemerken. Auch die Blätter haben bei Gruppe II sowie Gruppe III eine tiefgrüne Farbe behalten.

4. Der Rotbuche zunächst steht die Hainbuche, welche bei den H-Pflanzen zwischen den 3 Lichtgraden bedeutende Differenzen herausgebildet hat, während sie bei den S-Pflanzen keine großen Unterschiede aufweist. Hier sind auch die Pflanzen der Gruppe III noch tiefgrün.

5. Die Fichte hat bei den H- und auch bei den S-Pflanzen dieselben, teilweise sogar etwas größere Differenzen zwischen den drei Lichtgraden zuwege

gebracht wie die Hainbuche bei den H-Pflanzen. Das Blattgrün bei Gruppe III wie bei Gruppe II ist tiefgrün.

6. Die Ulme verhält sich ähnlich wie die Fichte, nur beim Gewicht ist zwischen den drei Gruppen eine größere Differenz als bei der Fichte. Auch das Blattgrün der Ulme ist in Gruppe III schon etwas heller. Das zeigt, daß der starke Lichtentzug für die Chlorophyllbildung der Ulme schon nicht mehr so günstig ist wie bei Gruppe II, d. h. die Ulme ist bei $^1/_{50}$ der normalen Lichtintensität schon jenseits ihrer Lichtgenußminimumsgrenze.

7. und 8. Nun folgen die beiden Linden: Im Vergleich zur Sommerlinde hat die Winterlinde an Gewicht, Gesamtlänge und Wurzellänge zwischen den drei Gruppen eine geringere Differenz, besonders hinsichtlich der Höhe über der Erde aufzuweisen, während letztere bei der Sommerlinde mit zunehmendem Lichtentzug deutlich abnimmt. Deswegen steht die Winterlinde an siebenter Stelle und die Sommerlinde an achter.

9. und 10. Bei Traubeneiche und Stieleiche verhalten sich Gewicht, Gesamtlänge und Wurzellänge unter den drei Lichtgraden sehr ähnlich, nur die Höhe über der Erde hat bei der Traubeneiche bei den S-Pflanzen mit zunehmendem Lichtentzug zugenommen. Die H-Pflanzen sind fast gleich hoch; bei der Stieleiche sinkt bei den S- sowie bei den H-Pflanzen mit zunehmendem Lichtentzug die Höhe, also wurde die Traubeneiche an neunter und die Stieleiche an zehnter Stelle gesetzt.

11. und 12. Die beiden Erlen weisen bei den H-Pflanzen große Unterschiede zwischen den drei Gruppen auf, aber bei den S-Pflanzen finden sich keine so großen Unterschiede. Die Weißerle hat noch geringere Differenz als die Schwarzerle (Gewicht, Gesamtlänge, Wurzellänge). Es wurde die Weißerle an elfter und die Schwarzerle an zwölfter Stelle gesetzt.

13. Die Kiefer nimmt in allen Beobachtungspunkten mit zunehmendem Lichtentzug ab. Das Blattgrün ist hier bei Gruppe II schon etwas heller als bei den oben aufgezählten Holzarten, dies gliedert sie den wenig schattenfesten Holzarten an, die alle auch wie sie, ein helleres Grün haben.

Es bleiben noch 14. die Birke und 15. die Lärche. Diese beiden Holzarten haben zwischen den drei Lichtgraden überall große Unterschiede. Das Blattgrün bei Lärche und Birke bei Gruppe II ist noch heller als das der Kiefer. Die Lärche hat an Gewicht, Gesamtlänge und Wurzellänge größere Differenzen in den drei Gruppen als die Birke. Es wurde die Birke an vierzehnter und die Lärche an letzter Stelle gesetzt.

Nach den Ergebnissen der angestellten Versuche kann man also diese 15 einheimischen Holzarten hinsichtlich ihrer Schattenfestigkeit entsprechend den oben angeführten Beobachtungen in nachfolgende, leicht übersichtliche Reihe bringen:

1. Esche,
2. Tanne,
3. Rotbuche,
4. Fichte,
5. Hainbuche,
6. Ulme.
7. Winterlinde,
8. Sommerlinde.
9. Traubeneiche,
10. Stieleiche,
11. Weißerle,
12. Schwarzerle,
13. Kiefer,
14. Birke,
15. Lärche.

Bezüglich der Schattenfestigkeit (früher brauchte man das mißgebildete Wort Schattenerträgnis), wurde zuerst 1849 von Seidensticker[1]) (in Aerzen bei Hannover) eine systematische Gruppierung der Holzarten aufgestellt. 1852 brachte Gustav Heyer eine Klassifikation der Holzarten bezüglich ihrer Schattenfestigkeit. Später haben dann die Autoren entweder durch praktische Versuche oder durch Beobachtung die Ergebnisse dieser beiden Forscher erweitert. Für die Gruppierung oder die Reihenfolge der Holzarten nach ihrer Schattenfestigkeit hat jeder Autor örtlich und zeitlich verschiedene Daten geliefert. Die Angaben der verschiedenen Autoren wurden nun in folgendem Schema nebeneinander gestellt. Diese Zusammenstellung bietet äußerst wichtiges Vergleichsmaterial für unsere Versuchsreihe.

(Siehe Tabelle S. 29.)

Die in diesem Schema angeführten Holzarten sind meistens in erwachsenem Zustande beobachtet worden, nur Seidensticker führt ausdrücklich einjährige Eichen und Hainbuchen an, als „geduldet von der Überschirmung", — und Bühler legt in seiner Reihenfolge der Holzarten in der Jugendperiode meistens 6—7 Jahre alte Jungpflanzen zugrunde. Nun erleidet aber naturgemäß die Schattenfestigkeit jeder Holzart auf deren Lebensweg Änderungen, so erträgt manche Holzart in der Jugend viel Schatten, verlangt aber später viel Licht. Bei manchen Holzarten ändert sich die Schattenfestigkeit sehr stark, bei manchen wiederum verhältnismäßig weniger. Wie früher erwähnt, haben günstiges Klima und Bodengüte großen Einfluß auf die Schattenfestigkeit, diese Wirkung tritt bei Holzarten, — sagen wir „mittlerer Schattenfestigkeit" — verhältnismäßig stärker hervor als bei den extremen Holzarten, z. B. die Holzarten mit wenig Schattenfestigkeit wie Birke und Lärche; diese können selbst bei günstigstem Klima und vortrefflichster Bodengüte doch niemals so große Schattenfestigkeit wie etwa die Tanne und Buche erreichen. Betrachten wir das oben gegebene Schema, so finden sich bei den verschiedenen Autoren mit verschiedener Orts- und Zeitangabe ihrer Beobachtungen bei den bezüglich ihres Verhältnisses zum Lichtbedarf extremen Holzarten keine großen Unterschiede; so stellen alle Autoren die Tanne und Buche zu den ausgesprochen schattenfesten Holzarten und die Birke und Lärche zu den wenigst schattenfesten. Die übrigen Holzarten sind

[1]) Seidensticker, Forstzeitung 1849 S. 90.

Seidensticker[1])	G. Heyer[2])	Fischbach[3])	Kraft[4])	K. Gayer[5])	H. Mayr[6])	Bühler[7])
Hannover 1849	Hessen 1852	Württemberg 1865	Hannover 1878	Bayern 1880	Bayern 1909	Schweiz-Württemberg 1918
Der Überschirmung bedürfen in der Jugend: Buche Tanne Ahorn Walnuß Geduldet von der Überschirmung: Esche die 1 jähr. Eiche Hainbuche Fichte Kastanie Nicht lieben eine Überschirmung: Erle Birke Föhre Lärche Eiche Linde Ulme Aspe Pappel	1. Tanne Fichte 2. Buche 3. Linde und Hainbuche 4. Esche 5. Eiche 6. Erle 7. Weymouthskiefer 8. Kiefer 9. Ulme 10. Birke 11. Lärche	1. Buche 2. Tanne 3. Arve 4. Fichte 5. Esche 6. Hainbuche 7. Schwarzföhre 8. Eiche 9. Ahorn 10. Ulme 11. Erle 12. Föhre 13. Lärche 14. Aspe 15. Birke	1. Buche Tanne 2. Hainbuche 3. Spitz-Bergahorn 4. Fichte 5. Esche 6. Birke 7. Lärche 8. Schwarzföhre 9. Föhre	1. Tanne Eibe 2. Buche 3. Hainbuche 4. Fichte 5. Weißerle Linde Ahorn 6. Ulme Schwarzerle 7. Eiche Esche 8. Föhre Weide 9. Lärche Birke	Schattenholzarten: Eibe, Buche, Tanne, Fichte Halbschattenholzarten: Hainbuche Linde Ahorn Esche Ulme Erle Arve Akazie Lichtholzarten: Eiche, Föhre Weide, Lärche, Pappel, Birke	Reihenfolge der Holzarten in der Jugendperiode nach der Fähigkeit Schatten zu ertragen: 1. Tanne, Eibe 2. Buche, Hainbuche, Edelkastanie 3. Ulme 4. Esche 5. Bergahorn 6. Fichte 7. Eiche 8. Linde, Schwarzerle, Weißerle 9. Arve, Weymouthsföhre 10. Birke 11. Pappel, Aspe 12. Schwarzföhre 13. Bergföhre, Legföhre 14. Lärche 15. Föhre

[1]) Seidensticker, Forstztg. 1849 S. 90. — [2]) G. Heyer, Das Verhalten der Waldbäume gegen Licht und Schatten 1852. — [3]) C. Fischbach, bei Bühler, Waldbau I S. 457. — [4]) Kraft, Forstztg. 1878 S. 164. — [5]) K. Gayer, Waldbau 1898 S. 32. — [6]) H. Mayr, Waldbau 1908 S. 103. — [7]) Bühler, Der Waldbau 1918 I S. 444.

zumeist entsprechend der örtlich und zeitlich verschiedenen Beobachtungen in der Schattenfestigkeitsreihe nach vor- oder rückwärts verschoben, z. B. steht die Fichte bei G. Heyer an erster Stelle (wie die Tanne), auch H. Mayr rechnet die Fichte zu den Schattenholzarten, aber Fischbach, Kraft und Gayer haben sie alle an die vierte Stelle gesetzt, Bühler gar an die sechste Stelle.

Die Esche ist bei Seidensticker als eine Holzart angeführt, die bei Überschirmung noch geduldet wird, bei Heyer aber ist sie an vierter, bei Fischbach und Kraft an fünfter und bei Gayer an siebenter Stelle angesetzt; Mayr nennt die Esche Halbschattenholz und Bühler stellt die Jungeiche (6—7 Jahre alt) schon über die Fichte an dritter Stelle.

Bei unseren Versuchen war die Schattenfestigkeit der einjährigen Eiche größer als die aller übrigen, einheimischen Holzarten.

Also die Schattenfestigkeit einer Holzart ist nicht nur je nach dem Standorte, Bodengüte und Klima mehr oder weniger beträchtlich, sondern auch die zeitlichen Vorgänge im Laufe des Pflanzenlebens ändern in sehr charakteristischer Weise die Schattenfestigkeit mancher Holzarten. Die Schattenfestigkeit der Eiche ist in der Jugendzeit größer als die der Tanne, aber später im ausgewachsenen Zustand ist ihre Schattenfestigkeit geringer als die der Kiefer und Birke und fast gleich der der Lärche (siehe Schema).

Auch die meisten anderen Holzarten besitzen in der Jugend mehr Schattenfestigkeit als später. Wie sich die Schattenfestigkeit einer Holzart im Lauf der Zeit ändert, könnte man von deren Jugendzeit an genau beobachten und wenn man für jede Holzart vom ersten Jahre an solche Beobachtungen anstellen und deren Schattenfestigkeitsdauer ermitteln würde, so wäre das für die Forstwirtschaft und Forstwissenschaft ein großer Vorteil. Diese ideale Schattenfestigkeitskurve könnte das Optimum an Lichtgenuß für jede Holzart zeigen, so daß sich auf Grund dieser Kurve die Lichtintensität des Waldes regulieren ließe. Das richtige Maß der Lichtintensität ist aber nicht nur für den bestmöglichen Verlauf der Holzerzeugung sehr wichtig, sondern auch für die Bewahrung des Bodenschutzes sehr wesentlich. Bei unseren Versuchen wurde als Frucht eines Vegetationsjahres nur die Schattenfestigkeit der einjährigen Pflanzen festgestellt. Das sind freilich nur die Anfangspunkte, ich hoffe aber auch späterhin Beobachtungen anstellen zu können, um den Änderungsvorgang der Schattenfestigkeit der Holzarten weiter zu studieren.

Zusammenhang zwischen Keimbett und Licht hat aber auch so schon (nur für die erste Jugendzeit ermittelt) interessante Aufschlüsse gegeben, ebenso wie das Verhalten der einjährigen Keimlinge zum Lichte selbst. Wir sehen so, daß glücklicherweise bei manchen Holzarten, die von der Natur mit kärglichen Vorräten für die erste Reise ins Leben ausgestattet wurden, oder denen gewisse Ansprüche, je nachdem ans Licht oder an andere Faktoren (Feuchtigkeit, Bodengüte usw.) von der Natur mitgegeben wurden, diese ungünstigen Momente auszuschalten vermögen durch vermehrten Genuß eines

anderen Hauptfaktors als des zunächst am meisten erwünschten. Auch hier zeigt sich also das Gesetz des Ausgleichs: geringeres Licht wird ertragen bei genügender Bodengüte und ähnlich. Vielleicht könnte man auch das Gesetz der Anpassung so sich entstanden denken, daß — wie auch die neuesten Forschungen ergeben zu haben scheinen (Mitscherlich: Wirkungsgesetz) —, das Liebigsche Gesetz vom Minimum nicht mehr ganz stimmt, sondern, daß bei Mangel eines Faktors bis zu einem gewissen Grad noch bei zeitlichem Vorhandensein eines anderen Faktors Ersatz und Ausgleich eintreten kann.

Anhang:

Ermittlung der tatsächlichen Verhältnisse im Walde zum Vergleich mit den Versuchsergebnissen.

Einleitung:

Es wurde bereits bei der Versuchsanstellung auf die Schwächen hingewiesen, die Ergebnissen naturgemäß innewohnen müssen, welche nur mittels Topfversuchen unter den geschilderten Bedingungen erhalten wurden. Eine Ausschaltung dieser Fehlerquellen lag nicht im Bereich der für die Abfassung dieser Arbeit zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, um so mehr, als dazu Erfahrungen nötig sind, die heute in der Wissenschaft noch nicht zur Verfügung stehen, sondern nur Schritt für Schritt gewonnen werden können. Um aber eine Überprüfung oder wenigstens ein Spiegelbild der Versuchsergebnisse zu erhalten, schien die Ermittlung der wirklichen Verhältnisse im Wald ein wertvolles Hilfsmittel. Dieser Absicht entsprang der Gedanke, Messungen im Bestand vorzunehmen und zum Vergleich hier näher zu erläutern. Im Anschluß an den Versuch im Versuchsgarten wurde daher auch einiges Zahlenmaterial gesammelt in Beständen mit Naturverjüngung.

Begründung und Erläuterung des Meßverfahrens.

Bei der Verjüngung unter Schirm spielt die Lichtwirkung eine große Rolle, besonders bei der Naturverjüngung. Innerhalb eines geschlossenen Schirmbestandes ist die Lichtintensität manchmal sehr schwach, das Unkraut daher fast gar nicht zu sehen, aber doch sind einige Keimlinge von gewissen Holzarten da. Dagegen tritt, wo der Schirmbestand gelichtet wird, sofort eine Konkurrenz zwischen Jungwuchs und Unkraut ein. Unkraut wirkt im kleinen seinerseits wieder wie der Schirmbestand. Je dichter der Schirmbestand ist, um so geringer ist der Unkrautwuchs. Auf gutem Boden ist der Schirmbestand als Schutz gegen Frost und Dürre in der Regel frühzeitiger entbehrlich, aber das Unkraut erfordert auf der anderen Seite gerade hier einen Schirmbestand. Auf schlechten Böden verträgt andererseits der Jungwuchs geringere Beschirmung, da Wurzelkonkurrenz und Lichtmangel gebieterisch die Abräumung des Schirmbestandes fordern. Die Kunst der Verjüngung liegt nun darin, daß die Auf=

lösung des Mutterbestandes in einem Tempo vor sich geht, daß gerade das notwendigste Bedürfnis des Jungwuchses nach Licht usw. gestillt wird, das des Unkrautes aber nicht. Den Grad der hierzu nötigen Auflockerung des Oberstandes ermittelt der Praktiker in der Regel durch Probieren. Kommt nach der Auflichtung Unkraut, so sieht er, daß er zuviel wegnahm, andernfalls, wenn Verjüngung kommt und wieder vergeht, dann glaubt er, zu wenig getan zu haben, obwohl natürlich auch das Wild am Verschwinden des Jungwuchses schuld sein kann.

Aber jedenfalls wird mit solch tastendem Herumprobieren oft viel Zeit verloren und manche Fläche zur Verjüngung überhaupt verdorben. Daher sollte man jeweils in der Praxis mittels Lichtmessung feststellen, bei welcher Lichtintensität unter dem Schirmbestand unter den jeweils gegebenen Verhältnissen (Bodengüte, örtliches Klima usw.) noch natürlicher Jungwuchs im Alter von 1—3 Jahren vorkommt und bei welcher Lichtintensität er unter diesen Verhältnissen gutes Gedeihen findet. Zu dieser Frage, deren Beantwortung eine wichtige Ergänzung — wie angedeutet — unserer Topfversuchsresultate darstellen würde, habe ich einige interessante Daten gesammelt:

Ich habe eine größere Anzahl Lichtmessungen in den Forstamtsbezirken Freising und Grafrath vorgenommen, und zwar jeweils an möglichst vielen Plätzen, um örtlichen Zufälligkeiten, die auf besondere Bodenverhältnisse usw. zurückzuführen sind, nach Möglichkeit auszuweichen. Auf diese Weise hoffe ich, die unerläßliche Vorbedingung jeden Versuches, „die Vergleichsfläche", doch gewonnen zu haben. Ich gebe mich aber natürlich keiner Täuschung hin, wenn ich nun Zahlen darüber bringe, daß diese nur Einzelwerte darstellen, deren Verallgemeinerung nicht statthaft ist, um so mehr, als es sich in der Regel um bessere bis sehr gute Bonitäten handelte. Die Holzarten waren Tanne, Fichte, Buche, Kiefer, Lärche, Eiche, Ahorn und Eiche. Die Untersuchungen geschahen nun einmal am 5. August 1926 im Forstamtsbezirke Freising, Distrikt III, Abteilung 4c Erlweg, im dichtgeschlossenen Tannenbestand (die Bäume 60—80 Jahre alt, Abstand 2—4 m). Unter diesem Schirmbestand ist die Lichtintensität nur 1/[illegible] (Mittagszeit). Es kommt noch Tannenjungwuchs vor, aber gering an Zahl. Am 26. Juli ergab im Außenforstamtmannsbezirke Kranzberg, des Forstamts Freising, in einem Alttannenbestand unter Schirm eine Lichtmessung die Lichtintensität von nur $^1/_{44}$—1/[illegible]. Hier gibt es massenhaften kräftigen Tannenwuchs und dazwischen noch einigen Buchen- und Eichenjungwuchs.

Ähnlich wie die Tanne verhielt sich auch die Fichte; es wurde am 4. August im Lehr- und Versuchsrevier Grafrath (Langerschlag) in einem möglichst dichtgeschlossenen Fichtenbestand (60—70 Jahre alt) die Lichtstärke gemessen und unter dem Schirm eine Lichtintensität von nur $^1/_{70}$ festgestellt. Hier gibt es noch einige Fichtenkeimlinge. Neben diesem Bestand ist noch ein Altfichtenbestand (100 Jahre alt), unter diesem ist auch sehr viel Jungwuchs

vorhanden, besonders nahe dem Rand. Hier habe ich die Lichtintensität vielfach gemessen. Bei $^1/_{38}$—$^1/_{50}$ ist der Jungwuchs am üppigsten.

Die Tanne und Fichte sind zwar je bis zu einem gewissen Grad schattenfest, aber bei auf $^1/_{60}$—$^1/_{70}$ abgeschwächter Lichtintensität konnte doch selbst auf diesen guten Bonitäten nur wenig Jungwuchs vorkommen. Der Grund liegt darin, daß außer der Lichtwirkung noch andere von der Lichtintensität abhängige Faktoren gleichzeitig die Keimung beeinflussen. Für die Keimung sind Licht, Wärme und Feuchtigkeit die wichtigsten Faktoren. Eine Isolierung dieser Faktoren ist technisch sehr schwierig und ließe sich wohl nur unter großen Kosten im Gewächshaus erreichen, wo man besonders Wärme, Luftfeuchtigkeit und Licht je für sich gesondert regulieren müßte. Zahlennachweise über die jeweils angetroffene Lichtintensität und die dabei erfolgte Reaktion der Pflanzen frühester Jugend sind aber gleichwohl wertvoll, da im Zusammenhalt mit anderen Ergebnissen sich doch durch Vergleich vielleicht manche Schlußfolgerung — wenn auch vielleicht erst später — ziehen lassen wird.

Unter einem dichtgeschlossenen Schirmbestand nun, bei einer Lichtintensität von $^1/_{80}$—$^1/_{70}$, wird also natürlich die Wärme auch in gewissem Verhältnisse abgeschwächt, weil die Wärme meist mit dem Licht proportional beeinflußt wird. Wichtig für die Keimung ist ferner die Feuchtigkeit des Bodens, die bei einem derart dichtgeschlossenen Bestand nur in geringerem Maße vorhanden ist als in gelockerten Beständen. Der Grund dafür ist, daß ein Teil der Niederschläge durch die Baumkronen (Blätter, Zweige und Schäfte) zurückgehalten wird und wieder verdunstet und nur ein Teil der Niederschläge auf den Waldboden gelangt. Endres[1]) hat auf Grund der Untersuchungen Ebermayers festgestellt, „daß in geschlossenen Buchenbeständen $^1/_5$, in Nadelholzbeständen $^1/_4$—$^1/_3$ der Niederschläge nicht auf den Boden gelangt. Der Nadelholzboden ist trockener als der Laubholzboden". Auf Nadelholzboden werden die Samen durch die dichtgelagerte Nadelstreu von der Berührung mit dem mineralischen Erdreich abgehalten, sie können nicht direkt vom Boden Feuchtigkeit aufnehmen. Die Samen verlieren daher infolge des langen Liegens auf trockenem Boden entweder ihre Keimfähigkeit, oder sie werden von Mäusen, Vögeln usw. gefressen, oder sie keimen zwar endlich, die Keimwürzelchen gelangen aber nicht durch die organische Bodendecke hindurch und bei auftretender Trocknis gehen dann die Keimlinge zugrunde. Die meisten Samen haben wegen des Mangels an Licht und gleichzeitig des Mangels an Feuchtigkeit nicht mehr gekeimt. Darum haben Tanne und Fichte bei $^1/_{80}$ oder $^1/_{70}$ so wenig Jungwuchs aus der natürlichen Verjüngung bekommen. Dagegen ist bei einer Lichtintensität von $^1/_{44}$—$^1/_{60}$ oder $^1/_{38}$—$^1/_{50}$ der Jungwuchs massenhaft vorgekommen, weil hier nicht nur die Lichtintensität steigt, sondern auch die Feuchtigkeit (mehr Niederschläge gelangen zum Boden) und vielleicht auch die Wärme im Boden

---

[1]) Endres, Handbuch der Forstpolitik 1922, S. 136—137

des Schirmbestandes erhöht ist. In einem gemäßigt geschlossenen Bestand, bei einer Lichtintensität von $^1/_{40}$—$^1/_{50}$, konnte man nicht nur beobachten, daß solcher Jungwuchs, wie Tanne und Fichte, ganz üppig vorkommt, sondern man bemerkte auch andere für den Boden sehr günstige Umstände; z. B. war die Streuzersetzung gefördert und das Unkraut noch etwas vermindert. (Die Lichtgenußminimumgrenze liegt nach Wiesner bei Heide bei $^1/_{10}$ und bei Heidelbeere bei $^1/_{50}$.)

Man kann also sagen, daß für Tannen- und Fichtennaturverjüngung eine Lichtintensität von $^1/_{40}$—$^1/_{50}$ am günstigsten war.

Die Kiefer ist eigentlich eine weniger schattenfeste Holzart, aber bei $^1/_{20}$ Lichtintensität habe ich im Außenforstamtmannsbezirk Kranzberg unter einem mäßig durchforsteten Alttannenbestand doch einigen Kiefernjungwuchs gefunden wegen der ausgezeichneten Bodengüte und der günstigen klimatischen Verhältnisse, die er hier findet. In der Jugendzeit kann die Kiefer mehr Schatten ertragen als im allgemeinen gedacht wird. Im selben Bezirk, in einem Altkiefernbestand, wo schon stark durchforstet und die Lichtintensität $^1/_{10}$—$^1/_{14}$ des Gesamtlichts war, fand sich massenhafter und sehr kräftig gewachsener Kiefernjungwuchs aus Naturverjüngung. Für die Naturverjüngung der Kiefer war also die Lichtintensität von $^1/_{10}$—$^1/_{14}$ sehr günstig.

Im Freisinger Forstamtmannsbezirk (Abt. Siebeneichenholz) ist ein aus Lärche und Fichte gemischter Altbestand, wo es bei der Lichtintensität von $^1/_7$—$^1/_{10}$ zahlreichen Lärchenjungwuchs gibt (von 1—3 Jahr), der sehr gut gewachsen ist. Demnach scheint hier die Lichtintensität von $^1/_7$—$^1/_{10}$ für die Naturverjüngung der Lärche noch sehr angemessen zu sein.

Im selben Forstamtsbeziek (Abt. Plantage) gibt es einen Mischbestand aus Buchen, Ahorn, Eschen und Eichen. In dieser Gegend habe ich zahlreiche Lichtmessungen gemacht; die Lichtintensität war von $^1/_{72}$—$^1/_{89}$. Bei so schwacher Lichtintensität ist doch noch sehr viel natürlicher Jungwuchs vorgekommen. Der Jungwuchs besteht zumeist aus Esche und Ahorn, dann auch aus Buche und Eiche, von denen aber nur einige Exemplare vorhanden sind. In demselben Bestand, nahe am Rand, wo die Lichtintensität $^1/_{42}$ ist, findet sich schon mehr Eichenjungwuchs, der viel besser gewachsen ist.

Im Laubwald ist in unseren Breiten die Keimung viel günstiger als im Nadelwald, weil im Laubwald zu Anfang der Vegetationszeit (März und April) die Bäume noch nicht belaubt sind oder erst anfangen, ihre Blätter zu entfalten. Das Sonnenlicht und der mit ihm gleichlaufende Faktor Feuchtigkeit, dann auch die Wärme treffen direkt auf den Waldboden und fördern die Keimfähigkeit. Natürlich wird die Lichtintensität durch die Kronen und die Stämme doch etwas abgeschwächt sein.

Die weniger schattenfesten Holzarten sterben bei $^1/_{72}$—$^1/_{89}$ Lichtintensität bald ab. Schattenfeste Holzarten, wie Esche, Ahorn, Buche und Eiche können vorerst noch weiter wachsen. Aber nach einigen Jahren steigt der Lichtbedarf

dieser Holzarten, und wenn sie noch bei so schwacher Lichtintensität bleiben, dann werden diese Bäume doch rasch zugrunde gehen.

Die so gefundenen, für die Naturverjüngung auf den gegebenen Bonitäten angemessenen Lichtintensitäten einzelner Holzarten werden in folgendem Schema zusammengestellt:

Holzarten:	Tanne, Fichte	Kiefer, Lärche
Lichtintensität:	$^1/_{40}$—$^1/_{50}$	$^1/_{10}$—$^1/_{14}$, $^1/_7$—$^1/_{10}$
Holzarten:	Esche, Ahorn, Buche	Eiche
Lichtintensität:	über $^1/_{72}$	$^1/_{42}$

Bei der Naturverjüngung muß man dem Lichtfaktor große Beachtung schenken. Zuviel Licht vermindert durch starke Besonnung und Verunkrautung die Bodengüte, aber zu wenig Licht hindert die Keimung und liefert nur ganz schwache Keimlinge, wodurch in einem guten Sonnenjahr sehr viel Samen verloren geht. Also ist es für die Forstwirtschaft sehr wichtig, das Optimum an Lichtintensität für die Naturverjüngung zu schaffen.

Hauptsächlich benützte Literatur:

I. Selbständige Werke:

Benecke-Jost, Pflanzenphysiologie. 1923.
Bühler, Der Waldbau. 1818.
Defant und Obst, Lufthülle und Klima. 1923.
Dorno, Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung. 1919.
Eder, Ein neues Graukeil-Photometer. 1920.
Endres, Handbuch der Forstpolitik. 1922.
Engler, Tropismen und exzentrisches Dickenwachstum der Bäume. 1918.
K. Gayer, Waldbau. 1898.
Giesenhagen, Lehrbuch der Botanik. 1924.
Hann und Süring, Lehrbuch der Meteorologie. 1926.
Hecht, Das Graukeil-Photometer im Dienst der Pflanzenkultur. 1918.
G. Heyer, Das Verhalten der Waldbäume gegen Licht und Schatten. 1852.
Lundegardh, Klima und Boden. 1925.
H. Mayr, Waldbau. 1908.
Ramann, Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. 1893.
Rubner, Pflanzengeographische Grundlagen des Waldbaus. 1925.
Schröter, Das Pflanzenleben der Alpen. 1923.
M. Wagner, Pflanzenphysiologische Studien im Walde. 1908.
Wiesner, Der Lichtgenuß der Pflanzen. 1907.

II. Aus Zeitschriften:

Baer, Sitzungsbericht der Wiener Akademie math. nat. Kl. 1912.
Boysen-Jensen, Tidskr. f. Scogvaesen. 1910.
Cieslar, Mitteilung aus der Forstlichen Versuchsw. Österreichs. 1904.
Döbner, Forstzeitung. 1859.
Dorno, Meteorologische Zeitung. 1925.
Fabricius (Whitney), Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 1924.
Fricke, Zentralblatt für das gesamte Forstwesen. 1904.

Hartig, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 1877.
Hesselmann, Beitrag zur Botanischen Zentrale b. 1904.
Klebs, Sitz. bez. d. Heidelbergischen Akademie. 1916/1917.
Knuchel, Mitteilung der Schweizerischen Versuchsanstalt für Forstliches Versuchswesen. 1914.
Kraft, Forstzeitung. 1878.
Lehmann, Bericht der Botanischen Gesellschaft. 1918.
Lublimenko, Rev. gen. d. bot. 1908.
Ölkers, Zeitschrift f. Forst- und Jagdzeitung. 1914, 1917, 1918.
Peppler, Beitrag zur Bestrahlung. Klima. 1925.
Ramann, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 1911.
Rübel, Vierteljahrsschrift der Naturforsch. Ges. in Zürich. 1910, 1908.
Schanz, Ber. ges. 1919.
Schmidt, Zeitschrift für Forst- und Jagdzeitung. 1924.
Schmidt, Silva Nr. 30. 1926.
Schreiber, Zentralblatt für das gesamte Forstwesen. 1924.
Seidenstücker, Forstzeitung. 1849.
Stabler-Volkarts, Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz. 1904.
Tschermak, Zentralblatt für das gesamte Forstwesen. 1924.
M. Wagner, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 1913.
Wiesner, Sitzungsbericht der K. Akademie der Wissenschaften zu Wien. 1895.
Zederbauer, Zentralblatt f. das gesamte Forstwesen. 1907.

Weitere und eingehendere Literaturangaben finden sich im Text.

Druck von Hermann Beyer & Söhne (Beyer & Mann) in Langensalza.